



**TUGAS AKHIR – TM145502**

**ANALISA PENGARUH VARIASI TEMPERATUR  
*REFORMING* TERHADAP KEKUATAN IMPAK DAN  
KEKERASAN PADA BAJA SS400**

Imam Sakroni  
NRP 2114 030 031

Dosen Pembimbing 1  
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc.  
19601025 198701 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017





**TUGAS AKHIR – TM145502**

**ANALISA PENGARUH VARIASI  
TEMPERATUR *REFORMING* TERHADAP  
KEKUATAN IMPAK DAN KEKERASAN  
PADA BAJA SS400**

Imam Sakroni  
NRP 2114 030 031

Dosen Pembimbing  
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc.  
19601025 198701 1 001

Departemen Teknik Mesin Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017





**FINAL PROJECT – TM145502**

**THE EFFECT OF REFORMING  
TEMPERATURE VARIATION TO IMPACT  
AND HARDNESS ON SS400 STEEL**

Imam Sakroni  
NRP 2114 030 031

Advisor  
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc.  
19601025 198701 1 001

Industrial Mechanical Engineering Department  
Faculty Of Vocational  
Institute Technology Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA PENGARUH VARIASI TEMPERATUR REFORMING TERHADAP KEKUATAN IMPAK DAN KEKERASAN PADA BAJA SS400

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya  
pada Bidang Studi Manufaktur  
Departemen Teknik Mesin Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

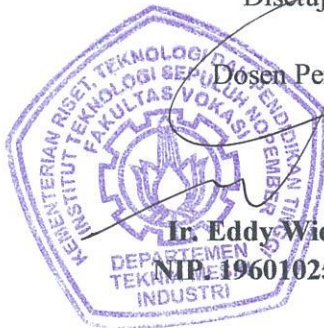
Oleh :

**IMAM SAKRONI**

**NRP. 2114 030 031**

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing



**In. Eddy Widiyono, M.Sc.**

**NIP. 19601025 198701 1 001**

SURABAYA, JULI 2017

# **PENGARUH VARIASI TEMPERATUR REFORMING TERHADAP KEKUATAN IMPAK DAN KEKERASAN PADA BAJA SS400**

**Nama Mahasiswa : Imam Sakroni**  
**NRP : 2114 030 031**  
**Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI-ITS**  
**Dosen Pembimbing : Ir. Eddy Widiyono, M.Sc**

## **Abstrak**

*Baja SS400 merupakan salah satu jenis baja yang digunakan dalam pembuatan underframe kereta api yang dibuat oleh PT. INKA. Baja SS400 ini dipilih karena memiliki kadar karbon yang rendah, sehingga hal ini sangat mendukung proses pemesian yang akan dilakukan dalam pembuatan underframe. Selain itu dengan kadar karbon yang rendah pada baja SS400 ini membuat baja ini ulet.*

*Dalam pembuatan underframe kereta api baja yang digunakan disambung dengan menggunakan las. Pengelasan ini membuat baja memiliki tegangan sisa yang diakibatkan oleh adanya distorsi atau deformasi. Untuk mengembalikan deformasi tersebut dilakukan dengan cara reforming / forging. Proses reforming ini diharapkan tidak merubah sifat mekanik material secara signifikan. Selanjutnya untuk mengetahui berapa nilai temperatur yang sesuai agar proses reforming tidak merubah sifat mekanik secara signifikan maka dilakukan penelitian mengenai pengaruh reforming terhadap kekuatan impak dan kekuatan tarik pada baja SS400 dengan tiga variasi suhu yaitu 400°C, 600°C dan 800°C.*

*Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa proses reforming pada suhu 800°C menjadi pilihan yang terbaik untuk mengembalikan deformasi. Hal ini dikarenakan reforming pada suhu 800°C memiliki kekuatan impak sebesar 1,234 Joule dan kekerasannya sebesar 4,8 HRC. Hasil ini mendekati nilai kekuatan impak dan kekerasan material awal.*

**Kata kunci : SS400, kekuatan impak, kekerasan, reforming**



# **THE EFFECT OF REFORMING TEMPERATURE VARIATION TO IMPACT STRENGTH AND HARDNESS ON SS400 STEEL**

**Student Name : Imam Sakroni**  
**NRP : 2114 030 031**  
**Department : Mechanical Engineering D3 FV-ITS**  
**Advisor : Ir. Eddy Widiyono, M.Sc**

## **Abstract**

SS400 steel is one of the steel type that is used in the making of train *underframe made by PT. INKA*. This steel was chosen because of its low carbon content, which means really useful for the machining process that will be done at the underframe fabrication. Moreover, with the low content of carbon on SS400 steel, the steel will be ductile.

In the fabrication of the train underframe, deformation often occur right after the welding process is done. In order to recover the part that deformed, the deformed part should be reformed. This reforming process is expected not to change the mechanical properties of the material significantly. Furthermore, in order to know the value of appropriate temperature so that the reforming process will not change its micro structure significantly, a research about the effect of reforming to impact and tensile strength on SS400 steel with 3 temperature variations 400°C, 600°C and 800°C is done.

The results of this research show that the reforming process at 800°C temperature becomes the best choice to restore the deformation that occurs when machining processes for railway underframe fabrication. This condition happens because of reforming at 800°C Has a impact strength of 1,234 Joules and a hardness of 4.8 HRC. These results

the mechanical properties of the material are not much different from the normal material. This result is close to the impact strength and hardness of the starting material.

**Key words : SS400, impact strength, hardness, reforming**

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat-NYA, sehingga penyusunan tugas Akhir yang berjudul :“**ANALISA PENGARUH VARIASI TEMPERATUR REFORMING TERHADAP KEKUATAN IMPAK DAN KEKERASAN PADA BAJA SS400**” dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS untuk bisa dinyatakan lulus.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis berusaha menerapkan ilmu yang didapat selama menjalani perkuliahan di Teknik Mesin Industri. Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua penulis yang senantiasa memberi dukungan moril dan materil.
2. Bapak Ir. Eddy Widiyono, M.Sc selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, saran dan masukan saat mengerjakan Tugas Akhir ini sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini tepat pada waktunya.
3. Bapak Dr. Heru Mirmanto, ST, MT selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS. Terima kasih atas segala bantuan dan motivasinya.
4. Bapak Ir. Suharyanto, MT selaku koordinator Tugas Akhir.
5. Tim dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam rangka perbaikan tugas akhir ini.
6. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Departemen Teknik Mesin FV-ITS, yang telah memberikan

banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.

7. Bapak Alit Darmawan, ST dari PT INKA Madiun selaku pembimbing dalam pengambilan data dan material untuk pengujian.
8. Teman teman dari Team Basudewo yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Sahabat kos Dimas Wisnu, Hermawan, dan Rosyid yang senantiasa membantu dalam penyusunan laporan.
10. Teman teman dari Laboraturium Metalurgi yang selalu memberikan semangat, dukungan serta motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya, bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB 2 DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Baja.....	5
2.1.1 Baja Karbon.....	6
2.1.2 Diagram Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	7
2.2 Sifat-Sifat Material .....	10
2.3 Perlakuan Panas ( <i>Heat Treatment</i> ) .....	12
2.3.1 Perlakuan Panas Kondisi Setimbang .....	13
2.3.2 Perlakuan Panas Kondisi Tidak Setimbang .....	14
2.4 Diagram TTT dan Diagram CCT .....	17
2.5 Penempaan ( <i>Forging</i> ).....	18
2.6 Pengelasan ( <i>welding</i> ).....	20
2.6.1 Distorsi dan Tegangan Sisa .....	21
2.7 Uji Kekerasan .....	21
2.8 Uji Impak .....	24
2.8.1 Prosedur Pengujian Impak.....	25
2.8.2 Uji Impak Metode Charpy .....	27
2.8.3 Uji Impak Metode Izod .....	27

2.7.4 Macam-Macam Patahan.....	28
<b>BAB 3 METODOLOGI.....</b>	<b>31</b>
3.1 Flowchart Penelitian.....	31
3.2 Bahan.....	32
3.3 Benda Uji .....	32
3.3.1 Benda Uji Kekerasan.....	32
3.3.2 Benda Uji Impak .....	33
3.4 Prosedur Laku Panas .....	33
3.4.1 <i>Hardening</i> .....	33
3.4.2 Pemanasan kembali .....	33
3.5 Peralatan dan Pengujian .....	33
3.5.1 Uji kekerasan.....	33
3.5.2 Uji Impak .....	35
3.6 Langkah Percobaan .....	36
<b>BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>39</b>
4.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia .....	39
4.2 Material Awal.....	39
4.2.1 Uji Impak Material Awal .....	39
4.2.2 Uji Kekerasan Material Awal.....	41
4.3 <i>Hardening</i> (Simulasi Tegangan Sisa).....	41
4.3.1 Uji Impak Material <i>Hardening</i> .....	42
4.3.2 Uji Kekerasan Material <i>Hardening</i> .....	43
4.4 Perlakuan Panas Kembali .....	43
4.4.1 Uji Impak Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C Tempa .....	46
4.4.2 Uji Impak Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C Tanpa Tempa .....	49
4.4.3 Uji Kekerasan Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C Tempa .....	52
4.4.4 Uji Kekerasan Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C Tanpa Tempa .....	53
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>57</b>
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	57

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Fe-Fe <sub>3</sub> c .....	7
Gambar 2.2	Daerah Temperatur Pemanasan Untuk Annealaing Dan Normalising .....	13
Gambar 2.3	Diagram TTT Baja Hypoeutectoid .....	17
Gambar 2.4	<i>Forging</i> (Penempaan) .....	19
Gambar 2.5	Prinsip Kerja Rockwell .....	23
Gambar 2.6	Ayunan Pendulum Alat Uji Impak .....	26
Gambar 2.10	Pemukulan Pada Metode Charpy .....	27
Gambar 2.11	Pemukulan Pada Metode Izod .....	38
Gambar 2.12	Hasil Scan Elektron Patahan Brittle.....	29
Gambar 2.13	Hasil Scan Elektron Patahan Ductile .....	29
Gambar 3.1	Diagram Alir.....	31
Gambar 3.2	Dimensi Benda Uji Kekerasan.....	32
Gambar 3.3	Dimensi Benda Uji Impak .....	32
Gambar 3.4	Alat Uji Kekerasan .....	34
Gambar 3.5	Alat Uji Impak .....	35
Gambar 4.1	Spesimen Hasil Pengujian Impak Kondisi Awal..	40
Gambar 4.2	Spesimen Uji Impak Hardening Setelah Di Uji....	40
Gambar 4.3	Material Pemanasan Kembali Dengan Tiga Variasi Temperatur Sebelum Uji Impak.....	47
Gambar 4.4	Diagram Energi Impak Material Tempa .....	47
Gambar 4.5	Diagram Hasil Kekuatan Impak Material Tempa.	48
Gambar 4.6	Diagram Energi Impak Material Tanpa Tempa ....	50
Gambar 4.7	Diagram Kekuatan Impak Material TanpaTempa	51
Gambar 4.8	Diagram Nilai Kekerasan Material Tempa.....	52
Gambar 4.4	Diagram Nilai Kekerasan Material Tanpa Tempa.	54
Gambar 4.4	Diagram Energi Impak Material Tempa	
Gambar 4.10	Struktur Mikro Material Pemanasan Temperatur 400°C.....	51

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Skala Uji dan Jenis Identor Kekerasan Rockwell.....	22
Tabel 3.1	Komposisi Kimia Baja SS400 .....	32
Tabel 4.1	Komposisi Kimia Hasil Pengujian .....	39
Tabel 4.2	Komposisi Kimia Pada Sertifikat Material.....	39
Tabel 4.3	Data Pengujian Impak Material .....	40
Tabel 4.4	Data Hasil Energi Impak Material Awal .....	40
Tabel 4.5	Data Hasil Pengujian Kekerasan Material Awal .....	41
Tabel 4.6	Data Proses <i>Hardening</i> .....	42
Tabel 4.7	Data Hasil Pengujian Impak Material <i>Hardening</i> ....	42
Tabel 4.8	Data hasil pengujian kekerasan material hardening .	43
Tabel 4.9	Data Proses Pemanasan temperatur 400°C .....	44
Tabel 4.10	Data Proses Pemanasan temperatur 600°C .....	44
Tabel 4.11	Data Proses Pemanasan Temperatur 800°C.....	45
Tabel 4.12	Hasil Pengujian Impak Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C Tanpa Tempa.....	46
Tabel 4.13	Hasil Pengujian Impak Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C Tanpa Tempa.....	49
Tabel 4.14	Hasil Pengujian Kekerasan Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C Tanpa Tempa.....	52
Tabel 4.15	Hasil Pengujian Kekerasan Material Pemanasan Temperatur 400°C, 600°C, 800°C Tanpa Tempa .....	54

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Baja SS400 merupakan salah satu jenis baja yang digunakan dalam pembuatan *underframe* kereta api yang dibuat oleh PT. INKA. Baja SS400 ini dipilih karena memiliki keuletan yang tinggi sehingga sesuai dengan kebutuhan *underframe* kereta.

*Underframe* kereta api adalah bagian dari kereta api yang merupakan sasis atau penyangga gerbong yang digunakan dalam setiap jenis kereta. Baja yang digunakan disambung dengan menggunakan las. Pengelasan ini membuat baja mempunyai tegangan sisa yang diakibatkan oleh adanya distorsi atau deformasi. Untuk mengembalikan deformasi tersebut dilakukan dengan cara *reforming* / *forging*. *Reforming* ini hanya bertujuan untuk merubah bentuk material yang mengalami deformasi, tanpa merubah sifat mekanik material. Proses ini dilakukan dengan cara memanaskan baja dengan menggunakan blander sampai suhu baja tersebut mencapai kurang lebih 600°C. Setelah baja mencapai suhu tersebut selanjutnya baja ditempa dengan menggunakan hammer lalu didinginkan dengan menggunakan air. Hal ini tentunya akan mempengaruhi kekerasan, dan kekuatan impak material yang mengalami proses *reforming*.

Oleh karena itu pada penelitian kali ini akan dilakukan analisa pada baja SS400 yang digunakan pada *underframe* untuk mengetahui pengaruh *reforming* yang digunakan sebagai proses mengembalikan bentuk material yang mengalami deformasi. Analisa dilakukan untuk mengetahui perubahan kekerasan, dan kekuatan impak material yang mengalami proses *reforming*. Serta untuk mengetahui temperatur pemanasan yang tepat untuk melakukan *reforming* agar kekerasan dan kekuatan impak material tidak berubah secara signifikan dari material awal.



## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka ada beberapa rumusan masalah yang muncul. Diantara rumusan tersebut adalah :

- 1) Bagaimana kekerasan baja SS400 yang telah di *reforming* ?
- 2) Bagaimana kekuatan impak baja SS400 yang telah di *reforming* ?
- 3) Berapa temperatur pemanasan yang tepat untuk melakukan *reforming* agar kekuatan tarik dan kekuatan impak material tidak berubah secara signifikan dari material awal ?

## **1.3 Batasan Masalah**

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang sesuai dengan tingkat ketelitian yang diharapkan , maka disusun batasan masalah guna memperjelas arah dan mengendalikan model sistem yang akan dicapai, yaitu sebagai berikut :

- 1) Suhu air yang digunakan untuk pendinginan adalah 30°C.
- 2) Perubahan suhu media pendingin diabaikan.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut

- 1) Mengetahui kekerasan baja SS400 yang telah di *reforming*.
- 2) Mengetahui kekuatan impak baja SS400 yang telah di *reforming*.
- 3) Mengetahui temperatur pemanasan yang tepat untuk melakukan *reforming* agar kekuatan tarik dan kekuatan impak material tidak berubah secara signifikan dari material yang tidak di *reforming*.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Berbagai manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

### **1.5.1 Bagi Mahasiswa**

Mahasiswa dapat menerapkan pengetahuan dan teori yang selama ini didapatkan dari pembelajaran di bangku kuliah untuk diaplikasikan pada permasalahan yang ada, dan juga dapat mengetahui bagaimana cara untuk meneliti perlakuan panas terhadap sifat mekanik.

### **1.5.2 Bagi Industri**

Dengan dilaksanakan penelitian ini didapatkan data - data dari pengujian berdasarkan uji tarik dan uji impak maka diharapkan akan diketahui pengaruh temperatur reforming pada baja SS400 yang digunakan sebagai bahan pembuatan underframe kereta api.

### **1.5.3 Bagi Ilmu Pengetahuan**

Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan menambah jumlah referensi bagi peneliti lain yang akan melaksanakan penelitian serupa.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan disusun untuk memberikan gambaran penjas mengenai bagian – bagian tugas akhir, diantaranya :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan secara singkat tinjauan secara umum mengenai latar belakang, rumusan permasalahan, batasan masalah, tujuan, sistematika penulisan dan manfaat.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

### **BAB III METODOLOGI**

Bab ini menjelaskan metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi dan langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

### **BAB IV HASIL DAN ANALISA**

Membahas tentang hasil pengujian diantaranya adalah pengujian kekerasan dan pengujian metalografi.

### **BAB V PENUTUP**

Membahas tentang kesimpulan dari hasil analisis dan saran-saran penulis dalam penyusunan tugas akhir.

### **DAFTAR PUSTAKA**

Berisi tentang referensi – referensi yang terkait dengan materi pembahasan, berupa buku, jurnal tugas akhir terdahulu, maupun website yang dijadikan acuan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

### **LAMPIRAN**

## **BAB 2**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Baja**

Baja merupakan logam paduan dimana unsur besi (Fe) sebagai unsur dasar dan unsur karbon (C) sebagai paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,008% - 2%, untuk baja yang memiliki kandungan karbon antara 0,008% - 0,8% berat maka disebut dengan baja Hypoeutektoid sedangkan yang memiliki kandungan karbon 0,8% - 2% berat disebut dengan baja Hypereutektoid. Dalam proses pembuatan baja akan terdapat unsur – unsur lain selain karbon yang akan tertinggal didalam baja tersebut dan sulit untuk dihilangkan yaitu Mangan (Mn), Silikon (Si), Chrom (Cr), Vanadium (V), Molibdenum (Mb) dan unsur lainnya. Dalam hal aplikasi baja merupakan bagian terpenting dalam kehidupan manusia dan dalam perkembangan teknologi yang sudah ada sampai saat ini baja memiliki peranan terpenting dalam mendukung hal tersebut. Dalam mendukung kehidupan manusia misalnya, alat – alat rumah tangga, perkantoran, perbengkelan dan alat – alat kosmetik yang biasa kita gunakan pasti akan bersentuhan dengan baja. Dan didalam mendukung perkembangan teknologi industri baja berperan dalam hal infrastruktur bangunan dan alat – alat berat yang digunakan. Selain itu baja juga mengalami perkembangan yang cukup signifikan, bahkan dalam hal perkembangan teknologi didunia kesehatan baja berperan dalam membantu pasien – pasien yang mengalami patah tulang guna membantu menyambungkan kembali tulang yang patah tersebut. Kandungan karbon dalam baja akan menentukan sifat mekanik yang dimiliki oleh baja tersebut khususnya dalam hal kekerasan dan kuat tarik. Adapun sifat mekanik baja pada umumnya memiliki level kuat tarik menengah dengan nilai kuat tarik berkisar antara (200 – 300 MPa atau 30 – 40 ksi) serta dengan ketangguhan yang baik untuk menghasilkan kekuatan melebihi

1400 MPa (200 ksi) serta nilai fracture toughness sebesar 110 MPa [ASM international,2002].

### **2.1.1 Baja Karbon**

Baja karbon merupakan salah satu jenis baja paduan yang terdiri atas unsur besi (Fe) dan karbon (C). Dimana besi merupakan unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Dalam proses pembuatan baja akan ditemukan pula penambahan kandungan unsur kimia lain seperti sulfur (S), Fosfor (P), Silikon (Si), Mangan (Mn) dan unsur kimia lainnya sesuai dengan sifat baja yang diinginkan. Baja karbon memiliki kandungan unsur karbon dalam besi sebesar 0,2 % hingga 2,14% dimana kandungan karbon tersebut berfungsi sebagai unsur penguat dalam struktur baja.

Dalam pengaplikasiannya baja karbon sering digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan alat-alat perkakas, komponen mesin, struktur bangunan, dan lain sebagainya. Menurut pendefinisian ASM *handbook* vol.1:148 (1993), baja karbon dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah presentase komposisi kimia karbon dalam baja yakni sebagai berikut :

#### **1) Baja Karbon Rendah (*Medium Carbon Steel*)**

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja kurang dari 0,3% C. Baja karbon rendah ini memiliki ketangguhan dan keuletan yang tinggi akan tetapi memiliki sifat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah. Pada umumnya baja jenis ini digunakan sebagai bahan baku pembuatan komponen struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, kerangka kereta, bodi mobil, dan lain sebagainya.

#### **2) Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)**

Baja karbon sedang merupakan baja karbon dengan presentase kandungan karbon pada besi

sebesar 0,3% C – 0,59% C. Baja karbon ini memiliki kelebihan bila dibandingkan baja karbon rendah, baja karbon sedang memiliki sifat mekanis yang lebih kuat dengan tingkat kekerasan yang lebih tinggi daripada baja karbon rendah. Besarnya kandungan karbon yang terdapat dalam besi memungkinkan baja untuk dapat dikeraskan dengan memberikan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon sedang biasanya digunakan untuk pembuatan poros rel kereta api, roda gigi, baut, pegas, dan komponen mesin lainnya.

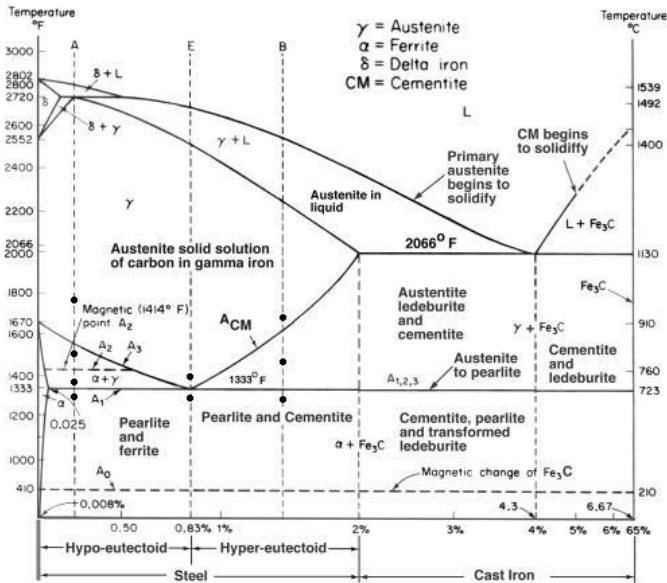
3) Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi adalah baja karbon yang memiliki kandungan karbon sebesar 0,6% C – 1,4% C. Baja karbon tinggi memiliki sifat tahan panas, keuletan yang lebih rendah sehingga baja karbon ini menjadi lebih getas. Baja karbon tinggi ini sulit diberi perlakuan panas untuk meningkatkan sifat kekerasannya, hal ini dikarenakan baja karbon tinggi memiliki jumlah martensit yang cukup tinggi sehingga tidak akan memberikan hasil yang optimal pada saat dilakukan proses pengerasan permukaan. Dalam pengaplikasiannya baja karbon tinggi banyak digunakan dalam pembuatan alat-alat perkakas seperti palu, gergaji, pembuatan kikir, pisau cukur, dan sebagainya.

### 2.1.2 Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C

Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa interstisial (*interstitial compound*) , eutektik dan juga eutektoid, atau mungkin juga karbon akan terpisah (sebagai *grain*). Diagram keseimbangan sistem paduan besi-karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian yang digunakan yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa interstisialnya. Karbida besi Fe<sub>3</sub>C yang

mengandung 6,67% C. Diagram fase yang banyak digunakan adalah diagram fase besi-karbida besi, atau disebut dengan diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C.



Gambar 2.1 Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C

Secara garis besar sistem paduan besi-karbon dapat dibedakan menjadi dua yaitu baja dan besi tuang (cast iron). Dari diagram tampak bahwa baja tidak mengandung struktur eutektik, karenanya itu mengapa sifatnya berbeda sekali dengan besi tuang (yang strukturnya eutektik). Nama/istilah yang terdapat pada diagram fase besi-karbida besi dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Cementit adalah karbida besi Fe<sub>3</sub>C, merupakan senyawa interstisial mengandung 6,67% C. Sangat keras ( $\pm 650$  BHN), getas dan kekuatan rendah ( $\pm 350$  kg/cm<sup>2</sup>). Struktur Kristal orthorhombik.
- Austenite adalah larutan padat karbon dalam besi  $\gamma$ . Kekuatan tarik  $\pm 1050$  kg/cm<sup>2</sup>, kekerasan 40 Rc,

ketangguhan tinggi. Biasanya tidak stabil pada temperature kamar.

- Ledeburite adalah suatu eutectic mixture dari austenite dan cementite, mengandung 4,3%C, berbentuk 1130°C.

- Ferrite adalah larutan padat karbon dalam besi  $\alpha$ . Kelarutan karbon maksimum 0,025% (pada 723°C), dan hanya 0,008% di temperature kamar. Kekuatan rendah tetapi keuletan tinggi, kekerasan kurang dari 90 RB.

- Pearlite adalah suatu eutectoid mixture dari sementite dan ferrit. Mengandung 0,8% C, berbentuk pada 723°C.

- Lower Critical Temperature ( temperature kritis bawah) A1, temperature eutectoid. Pada diagram Fe – Fe<sub>3</sub>C tampak berupa garis mendatar di temperature 723°C. Pada temperature ini terjadi reaksi eutectoid.

- Upper Critical temperature ( temperatur kritis atas) A3, temperature awal terjadinya perubahan allotropic dari  $\gamma$  ke  $\alpha$  (pada pendinginan) atau akhir perubahan allotropic dari  $\alpha$  ke  $\gamma$  (pada pemanasan).

- Garis solvus Acm merupakan batas kelarutan karbon dalam austenit. Dengan menggunakan diagram keseimbangan memang mungkin dapat diramalkan struktur yang akan terjadi pada suatu paduan (asalkan pada kondisi ekuilibrium atau yang dapat dianggap ekuilibrium), dengan demikian juga akan dapat diramalkan sifatnya.

- 0,008%C = Batas kelarutan maksimum Carbon pada Ferrite pada temperature kamar  
0,025%C = Batas kelarutan maksimum Carbon pada Ferrite pada temperature 723°C

- 0,83%C = Titik Eutectoid  
2%C = Batas kelarutan Carbon pada besi Gamma pada temperature 1130 Derajat Celcius  
4,3%C = Titik Eutectic  
0,1%C = Batas



kelarutan Carbon pada besi Delta pada temperature 1493 Derajat Celcius.

- Garis Liquidus ialah garis yang menunjukkan awal dari proses pendinginan (pembekuan). Garis Solidus ialah garis yang menunjukkan akhir dari proses pembekuan (pendinginan). Garis Solvus ialah garis yang menunjukkan batas antara fasa padat dengan fasa padat atau solid solution dengan solid solution. Garis Acm = garis kelarutan Carbon pada besi Gamma (Austenite) Garis A3 = garis temperature dimana terjadi perubahan Ferrit menjadi Austenite (Gamma) pada pemanasan.
- Garis A1 = garis temperature dimana terjadi perubahan Austenite (Gamma) menjadi Ferrit pada pendinginan. Garis A0 = Garis temperature dimana terjadi transformasi magnetic pada Cementit. Garis A2 = Garis temperature dimana terjadi transformasi magnetic pada Ferrite.

## **2.2 Sifat-Sifat Material**

Sifat mekanik suatu bahan adalah kemampuan bahan untuk menahan beban – beban yang dikenakan padanya. Beban – beban tersebut dapat berupa beban tarik, tekan, bengkok, geser, puntir, atau beban kombinasi. Sifat – sifat mekanik bahan antara lain :

- 1) Kekuatan (strength) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan tersebut menjadi patah. Kekuatan ini ada beberapa macam, dan ini tergantung pada beban yang bekerja antara lain dapat dilihat dari kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan puntir, dan kekuatan bengkok.
- 2) Kekerasan (hardness) dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk tahan terhadap goresan, pengikisan (abrasi), penetrasi. Sifat ini berkaitan erat dengan sifat keausan (wear resistance). Dimana kekerasan ini juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.

- 3) Kekenyalan (elasticity) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan. Bila suatu bahan mengalami tegangan maka akan terjadi perubahan bentuk. Bila tegangan yang bekerja besarnya tidak melewati suatu batas tertentu maka perubahan bentuk yang terjadi bersifat sementara, perubahan bentuk ini akan hilang bersamaan dengan hilangnya tegangan, akan tetapi bila tegangan yang bekerja telah melampaui batas, maka sebagian bentuk itu tetap ada walaupun tegangan telah dihilangkan.  
Kekenyalan juga menyatakan seberapa banyak perubahan bentuk elastic dapat terjadi sebelum perubahan bentuk yang permanen mulai terjadi, dengan kata lain kekenyalan menyatakan kemampuan bahan untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah menerima beban yang menimbulkan deformasi.
- 4) Kekakuan (stiffness) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan/beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) atau defleksi. Dalam beberapa hal kekakuan ini lebih penting dari pada kekuatan.
- 5) Plastisitas (plasticity) menyatakan kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastis (yang permanen) tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Sifat ini sangat diperlukan bagi bahan yang akan diproses dengan berbagai proses pembentukan seperti, forging, rolling, extruding, dan sebagainya. Sifat ini sering juga disebut sebagai keuletan/kekenyalan (ductility). Bahan yang mampu mengalami deformasi plastis yang cukup tinggi dikatakan sebagai bahan yang mempunyai keuletan/kekeyalan tinggi, dimana bahan tersebut dikatakan ulet/kenyal (ductile). Sedang bahan yang tidak menunjukkan terjadinya deformasi plastis dikatakan

sebagai bahan yang mempunyai keuletan rendah atau dikatakan getas/rapuh (brittle).

- 6) Ketangguhan (toughness) menyatakan kemampuan bahan untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu benda kerja, pada suatu kondisi tertentu. Sifat ini dipengaruhi oleh banyak faktor, sehingga sifat ini sulit untuk diukur.
- 7) Kelelahan (fatigue) merupakan kecenderungan dari logam untuk patah bila menerima tegangan berulang – ulang (cyclic stress) yang besarnya masih jauh dibawah batas kekuatan elastisitasnya. Sebagian besar dari kerusakan yang terjadi pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan. Karenanya kelelahan merupakan sifat sangat penting tetapi sifat ini juga sulit diukur karena sangat banyak faktor yang mempengaruhinya.

### **2.3 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)**

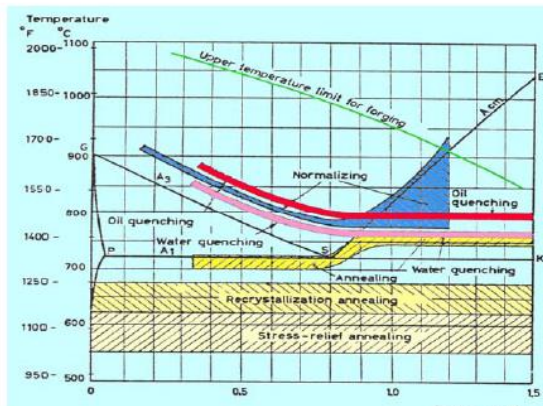
Dari sebuah rangkuman yang ditulis oleh Avner (1974: 676) menyatakan bahwa perlakuan panas (heat treatment) adalah: *“Heating and cooling a solid metal or alloy in such away as to obtain desired conditions or properties. Heating for the sole purpose of hot-working is excluded from the meaning of this defini*

Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat mekaniknya. Baja dapat dikeraskan sehingga tahan aus dan kemampuan memotong meningkat atau dapat dilunakan untuk memudahkan proses pemesian lanjut. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, ukuran butir dapat diperbesar atau diperkecil. Selain itu ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet. Untuk memungkinkan perlakuan panas tepat, komposisi

kimia baja harus diketahui karena perubahan komposisi kimia, khususnya karbon dapat mengakibatkan perubahan sifat-sifat fisis.

### 2.3.1 Perlakuan Panas Kondisi Setimbang

Tujuan umum dari perlakuan panas jenis Near Equilibrium ini diantaranya adalah untuk melunakkan struktur kristal, menghaluskan butir, menghilangkan tegangan dalam dan memperbaiki machineability. Jenis dari perlakuan panas Near Equilibrium, misalnya : Full Annealing (annealing), Stress relief Annealing, Process annealing, Spheroidizing, Normalizing dan Homogenizing.



Gambar 2.2 Daerah Temperatur Pemanasan Untuk Annealing Dan Normalising

Dari sedikit penjelasan diatas dapat kita tarik simpulkan bahwa secara umum laku panas dengan kondisi Near Equilibrium itu dapat disebut dengan anneling.

Anneling ialah suatu proses laku panas (heat treatment yang sering dilakukan terhadap logam atau paduan dalam proses pembuatan suatu produk. Tahapan dari proses Anneling ini dimulai dengan memanaskan logam (paduan)

sampai temperature tertentu, menahan pada temperature tertentu tadi selama beberapa waktu tertentu agar tercapai perubahan yang diinginkan lalu mendinginkan logam atau paduan tadi dengan laju pendinginan yang cukup lambat. Jenis Annealing itu beraneka ragam, tergantung pada jenis atau kondisi benda kerja, temperature pemanasan, lamanya waktu penahanan, laju pendinginan (cooling rate), dll. Sehingga kita akan mengenal dengan apa yang disebut : Full Annealing (annealing), Stress relief Annealing, Process annealing, Spheroidizing, Normalizing dan Homogenizing.

### **2.3.2 Perlakuan Panas Kondisi Tidak Setimbang**

Tujuan umum dari perlakuan panas jenis Non Equilibrium ini adalah untuk mendapatkan kekerasan dan kekuatan yang lebih tinggi. Jenis dari perlakuan panas Non Equilibrium, misalnya Hardening, Martempering, Austempering, Surface Hardening (Carburizing, Nitriding, Flame hardening, Induction hardening)

#### **1) Hardening**

*Hardening* merupakan salah satu proses laku panas dengan kondisi *non equilibrium*. *Hardening* dilakukan dengan memanaskan baja hingga mencapai temperatur austenit. Dipertahankan beberapa saat pada temperatur tersebut, lalu didinginkan dengan cepat sehingga diperoleh martensit yang keras. Kekerasan maksimum yang dapat dicapai setelah proses hardening banyak tergantung pada kadar karbon, semakin tinggi kadar karbon maka kekerasan yang dicapai semakin tinggi. Pada suatu kondisi pemanasan belum tentu semua karbon dalam baja akan larut dalam austenit, tergantung juga pada tingginya temperatur pemanasan. Oleh karena itu kekerasan yang terjadi setelah proses *hardening* banyak tergantung dari beberapa hal yaitu : tingginya

temperatur austenitising, laju pendinginan, dan *hardenability* dari baja itu sendiri.

## 2) Tempering

Baja yang telah dilaku panas pengerasan akan menghasilkan struktur martensit setelah didinginkan secara cepat (quenching). Pada kondisi ini biasanya material menjadi sangat getas, sehingga tidak cukup baik untuk berbagai pemakaian. Pembentukan martensit juga meninggalkan tegangan sisa yang sangat tinggi, oleh karena itu pada umumnya setelah proses pengerasan atau *hardening* kemudian segera diikuti dengan proses pemanasan kembali atau proses tempering. Proses tempering ini dilakukan untuk menghilangkan atau mengurangi tegangan sisa dan mengembalikan sebagian keuletan dan ketangguhannya. Dengan kembalinya sebagian keuletan/ketangguhan ini maka sebagian kekerasan yang telah dicapai pada proses pengerasan akan berkurang.

Suhu pemanasan proses tempering dapat dibedakan sebagai berikut :

### 1) Tempering suhu rendah

Tempering ini mempunyai suhu pemanasan 150°-300°C. Proses ini tidak akan menghasilkan penurunan kekerasan yang berarti. Tempering pada suhu rendah ini untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan dari baja. Biasanya untuk alat-alat potong, mata bor dan sebagainya

### 2) Tempering suhu menengah

Tempering ini mempunyai suhu pemanasan 300°-550°C. Tempering pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan sedikit menurunkan kekerasan. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya pegas palu, dan pahat.

### 3) Tempering suhu tinggi

Tempering ini mempunyai suhu pemanasan  $550^{\circ}\text{C}$ - $650^{\circ}\text{C}$ . Tempering pada suhu tinggi bertujuan memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah, misalnya pada roda gigi, poros, batang penggerak dan sebagainya.

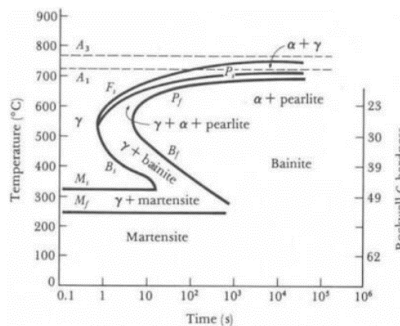
Pada dasarnya baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan. Melalui proses tempering, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Pada saat proses tempering, proses difusi dapat terjadi yaitu karbon dapat melepaskan diri dari martensit yang berarti kelutan dari baja naik, akan tetapi kekuatan tarik dan kekerasan menurun.

Proses tempering dilakukan dengan memanaskan kembali baja yang telah dikeraskan pada temperatur di bawah temperatur kritis bawah ( $A_1$ ), kemudian ditahan beberapa saat pada temperatur tertentu, selanjutnya didinginkan kembali. Dengan pemanasan kembali, martensit yang merupakan struktur metastabil yang berupa larutan padat supersaturated dimana karbon yang terperangkap dalam struktur body centered tetragonal (BCT) akan mengeluarkan karbon yang berpresipitasi sebagai karbida besi. Dengan keluarnya karbon, maka tegangan di dalam struktur BCT akan berkurang sehingga kekerasannya juga berkurang. Turunnya kekerasan ini akan semakin banyak bila temperatur pemanasan semakin tinggi dan juga apabila waktu tahan pada saat pemanasan semakin lama. Jika kekerasan turun kekuatan tarikpun akan turun pula. Dalam hal ini keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat.

Pada proses tempering adalah proses pemberian energi panas kepada martensit, tentunya banyaknya energi yang disalurkan tidak hanya tergantung pada temperatur tetapi juga tergantung pada waktu penahanan. Pada suhu rendah, laju difusi lambat hanya sebagian kecil karbon dibebaskan, hasilnya sebagian struktur tetap keras tetapi mulai kehilangan kerapuhannya. Pada temperatur temper yang lebih tinggi, kekerasannya menjadi lebih rendah dengan demikian maka logam menjadi lebih ulet dan tangguh. Perubahan temperatur tempering akan merubah struktur yang dihasilkan dan sulit dilihat perbedaannya, oleh karena itu semua produk tempering pada temperatur berapapun disebut tempered martensit yang artinya fasa martensit yang telah mengalami proses temper.

## 2.4 Diagram TTT dan Diagram CCT

Kurva TTT (Time Temperature Transformation) adalah suatu diagram yang menghubungkan transformasi austenit terhadap waktu dan temperature pada temperatur konstan. Bila austenite bertransformasi dengan pendinginan secara isothermal (konstan pada temperature tertentu) akan didapat struktur tertentu sesuai dengan skema pada diagram TTT (Time Temperature Transformation)



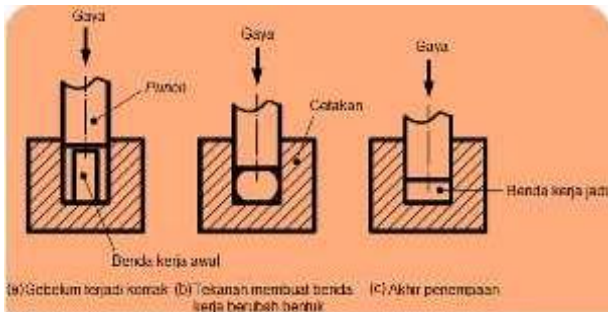
Gambar 2.3 Diagram TTT baja Hypoeutectoid



Transformasi pendinginan austenite selain secara isothermal juga dikenal pula pendinginan kontinyu disebut diagram CCT. Pendinginan yang dialami suatu benda pada proses laku panas biasanya pendinginan yang kontinyu, sehingga biasanya diagram CCT lebih banyak digunakan. Letak kurva semacam ini akan bergeser bila transformasi berlangsung pada temperatur yang menurun. Karena itu perlu dibuat suatu diagram transformasi pada pendinginan kontinyu. Diagram transformasi semacam ini dinamakan CCT (Continuous Cooling Transformation). Struktur martensit hanya dapat diperoleh dari austenite yang didinginkan cepat yaitu yang lebih cepat dari laju pendinginan kritisnya agar tidak terbentuk struktur lain.

## **2.5 Penempaan (*Forging*)**

Penempaan (*forging*) merupakan proses manufaktur, yang membentuk logam dengan menggunakan kekuatan tekan, hal ini akan merubah butiran di dalam baja, sehingga selama proses penempaan, maka butiran akan terdeformasi mengikuti alur penempaan. Penempaan diklasifikasikan menurut temperatur kerjanya, pengerjaan panas (*hot working*) dan pengerjaan dingin (*cold working*). Pengerjaan panas (*hot working*) adalah pembentukan logam yang dilakukan diatas temperatur rekristalisasi atau diatas temperatur 723°C. Sedangkan pengerjaan dingin (*cold working*) adalah pembentukan logam dibawah temperatur rekristalisasi atau dibawah temperatur 723°C dan biasanya pada temperatur ruang. Pada umumnya baja dalam kondisi panas.



Gambar 2.4 *Forging* (Penempaan)

Penempaan bebas umumnya digunakan untuk meningkatkan nilai kekuatan, namun jarang digunakan dalam studi perbaikan butiran baja, karena sulit untuk mempertahankan tempertur yang konstan selama proses penempaan. Akibat penempaan akan terjadi perubahan mikrostruktur dan timbul tegangan sisa yang merubah sifat mekanis bahan, jika tegangan sisa terlalu besar, akan terjadi deformasi dan penyebab keretaan.

Pengerjaan panas dapat meningkatkan keuletan dan ketangguhan. Namum terdapat beberapa kekurangan karena pengerjaan panas dengan tempertur tinggi mengakibatkan terjadi reaksi permukaan logam dengan udara sekitar.

Pengerjaan panas pada logam akan mengakibatkan struktur dan sifat-sifat logam yang tidak seragam karena deformasi selalu lebih besar pada permukaan. Logam akan mengalami butir rekristalisasi yang lebih halus pada permukaan.

Proses pengerjaan panas dilakukan secara bertahap. Pada umumnya suhu pengerjaan tahap pertama berada di atas batas bawah temepratur pengerjaan panas untuk memamfaatkan tengangan alir yang lebih rendah. Ada kemungkinan terjadi pertumbuhan butir setelah proses rekristalisasi karena biasanya dibutuhkan produk berbutir halus pada saat terakhir temperatur kerja diturunkan, sehingga pertumbuhan butir pada pendinginan dapat diabaikan. Temeptratur akhir biasanya sedikit diatas

temperatur derajat deformasi pada tahap terakhir harus relatif besar.

Selama operasi pengerjaan panas, logam berada dalam keadaan plastik dan mudah dibentuk oleh tekanan, pengerjaan panas mempunyai keuntungan-keuntungan sebagai berikut:

- 1) Porositas dalam logam dapat dikurangi. Batangan (ingot) setelah dicor umumnya mengandung banyak lubang-lubang tersebut tertekan dan dapat hilang oleh karena pengaruh tekanan kerja yang tinggi
- 2) Ketidakmurnianan dalam bentuk inklusi terpecah-pecah dan tersebar dalam logam.
- 3) Sifat-sifat fisik meningkat, disebabkan oleh karena penghalusan butir.
- 4) Keuletan dalam logam meningkat.
- 5) Jumlah energi yang dibutuhkan untuk mengubah bentuk baja dalam keadaan panas jauh lebih rendah dibandingkan dengan energi yang dibutuhkan untuk pengerjaan dingin.

## 2.6 Pengelasan (*welding*)

Pengelasan ( *Welding* ) adalah penyambungan dua atau lebih bahan dengan cara memanaskan permukaan sampai mencair dengan atau tanpa logam pengisi (*filler*) dan dengan atau tanpa tekanan. Dari definisi tersebut terdapat 3 kata kunci untuk menjelaskan definisi pengelasan yaitu mencairkan logam, logam pengisi, dan tekanan.

Proses penyambungan lain yang telah dikenal lama selain pengelasan adalah penyambungan dengan cara *Brazing* dan *Soldering*. Perbedaannya dengan pengelasan adalah tidak sampai mencairkan logam induk tetapi hanya logam pengisinya saja. Sedangkan perbedaan antara *Brazing* dan *Soldering* adalah pada titik cair logam pengisinya. Proses *Brazing* berkisar  $450^{\circ}\text{C}$  –  $900^{\circ}\text{C}$ , sedangkan untuk *Soldering*, titik cair logam pengisinya kurang dari  $450^{\circ}\text{C}$ .

### 2.6.1 Distorsi dan Tegangan Sisa

Distorsi adalah terjadinya perubahan bentuk atau penyimpangan bentuk oleh panas, termasuk akibat proses pengelasan. Terjadinya pemuaian benda kerja mengakibatkan melengkung atau tertarik bagian-bagian sekitar benda kerja las. Hal ini karena semua logam akan mengalami pengembangan jika terkena panas, terjadi penyusutan jika mengalami pendinginan.

Pada proses pengelasan, tegangan sisa dan distorsi merupakan kejadian yang saling berhubungan. Distorsi terjadi jika logam las dibiarkan bergerak leluasa selama proses pendinginan. Jadi distorsi terjadi karena adanya pemuaian dan penyusutan yang bebas akibat siklus termal las. Ada dua alternatif dalam pemilihan besar distorsi yang terjadi pada benda kerja yang di las :

- 1) Apabila benda kerja tidak boleh mengalami distorsi setelah proses pengelasan, maka diadakan *fixturing* yang konsekuensinya timbul tegangan sisa (*internal stress*).
- 2) Apabila benda kerja boleh mengalami distorsi setelah proses pengelasan, maka tegangan sisanya minim tetapi akan terjadi perubahan bentuk.

Distorsi dapat mengakibatkan :

- 1) Bentuk akhir tidak memenuhi syarat baik keindahan maupun letak dari benda yang di las.
- 2) Terjadi misalignment.
- 3) Dapat menjadi bagian yang terlemah.
- 4) Mengganggu distribusi gaya.

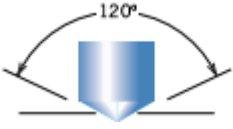

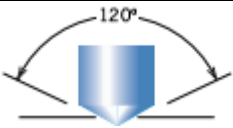
## 2.7 Uji Kekerasan

Pada pengujian kekerasan rockwell, angka kekerasan yang di peroleh merupakan fungsi dari kedalaman indentasi pada specimen akibat pembebanan statis. Pada pengujian dengan metode rockwell dapat digunakan dua bentuk indendtor, yaitu berbentuk bola dari baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter, dan bentuk kerucut dari intan ( *diamond cone* ). Beban

yang diberikan pada saat indentasi disesuaikan dengan bentuk dan dimensi indenter, dimana angka kekerasan specimen uji dapat dibaca langsung pada mesin tanpa perlu perhitungan tambahan.

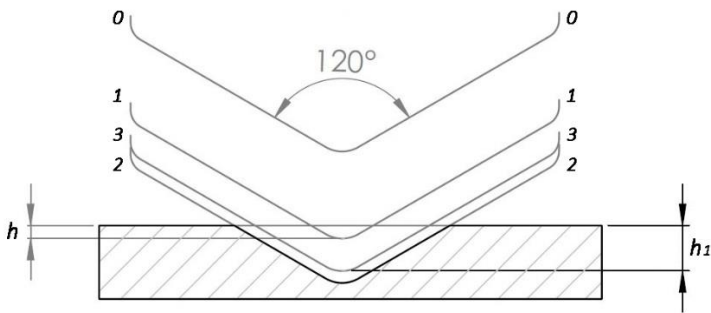
Prosedur pengujian kekerasan *Rockwell* dilakukan dengan melakukan indentasi dengan beban awal 10 kg (*Minor Weight*), yang menyebabkan kedalaman indentasi  $h$ , jarum penunjuk diset pada angka nol skala hitam, kemudian *Mayor Weight* diberikan.

Tabel 2.1 Skala Uji dan Jenis Indentor Kekerasan Rockwell

Scale	Indentor	Mayor Weight (kgf)	Unit
A	 Diamond Cone 120°	60	HRA
B	 Diamond Cone 120°	100	HRB
C	 Ball Ø 1.588 mm	150	HRC

Skala B digunakan untuk mengukur logam-logam yang nilai kekerasannya rendah dan menengah, Skala C digunakan untuk mengukur kekerasan logam telah diberi perlakuan khusus, dan Skala A digunakan untuk mengukur logam yang kekerasannya melebihi 70 *Rockwell C* misalnya *Tungsten Carbide Alloy*.

Angka kekerasan *Rockwell* tidak bersatuan, tetapi didahului dengan satu huruf depan yang menyatakan kondisi pengujian. Walau nilai kekerasan *Rockwell* otomatis terbaca pada mesin, ada metode perhitungan yang dapat digunakan dengan memperhatikan kedalaman indentasi ( $h_1$ )



Gambar 2.5 Prinsip Kerja *Rockwell*

Keterangan :

0-0 Posisi sebelum indentasi

1-1 Penetrasi pada saat beban awal (minor)

2-2 Penetrasi pada saat beban penuh (mayor)

3-3 Penetrasi setelah beban mayor dilepas

Angka kekerasan *Rockwell* tidak bersatuan, tetapi dengan satu huruf depan seperti pada tabel 2.1 yang menyatakan kondisi pengujian. Angka skala pada mesin terdiri dari dua skala, yaitu merah dan hitam, berbeda 30 angka kekerasan. Skala *Rockwell* terbagi 100 divisi, dimana setiap divisi sebanding dengan kedalaman indentasi 0,002 mm. Angka kekerasan *Rockwell B* dan *Rockwell C* dinyatakan sebagai kedalaman indentasi ( $h_1$ ) dapat ditulis sebagai berikut.

$$HR_B = 130 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0.002}$$

$$HR_c = 100 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0.002}$$

## 2.8 Uji Impak

Sebuah tes untuk mengukur jumlah energi yang diserap saat mematahkan takikan pada benda uji dengan satu pukulan yang dilakukan oleh pendulum. Benda kerja dicekam secara vertikal dengan bagian bawah takikan berada pada bidang yang sama dengan permukaan atas pencekam. Pukulan dilakukan pada permukaan yang sama dengan permukaan takikan dan pada ketinggian tertentu diatasnya.

Dalam hal ini energi didapat dari suatu bandul yang mempunyai ketinggian tertentu dan berayun memukul benda uji, berkurangnya energi potensial dari bandul sebelum dan sesudah memukul benda uji merupakan energi yang dapat diserap oleh benda uji tersebut.

Takik atau notch memegang peranan yang penting terhadap kekuatan impak suatu material. Dua buah benda yang mempunyai luas penampang, penahan beban yang sama bisa mempunyai kekuatan impak yang selalu jauh berbeda akibat perbedaan bentuk takik yang dimiliki. Adanya takikan pada benda kerja yang bisa berupa bentuk konfigurasi hasil desain, pengerjaan yang salah seperti diskontinuitas pada pengelasan atau korosi lokal yang bisa berdifat sebagai pemusat tegangan (*stress concentration*) Adanya pusat tegangan ini dapat menyebabkan Brittle material yang menjadi patah pada beban dibawah yield strength.

Kekuatan Impak suatu bahan didefinisikan sebagai energi yang digunakan untuk mematahkan batang uji dibagi dengan luas penampang pada daerah takikan. energi untuk mematahkan batang

uji dihitung berdasarkan berat dan ketinggian ayunan pendulum sebelum dan setelah Impak.

### 2.8.1 Prosedur Pengujian Impak

- 1) Menyiapkan peralatan yang akan digunakan untuk pengujian
- 2) Periksa posisi nol mesin dengan menaikkan pendulum ke posisi latch, gerakkan pointer mendekati kapasitas maksimal kisaran yang digunakan, lepaskan pendulum, dan baca nilai yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk. Penunjukan harus menunjukkan nol pada mesin pembaca.
- 3) Spesimen uji secara termal dikondisikan dan diposisikan pada landasan. Pendulum dilepaskan tanpa getaran, dan spesimen dipukul oleh pemukul. Informasi diperoleh dari mesin dan spesimen yang telah dipukul.
- 4) Benda uji dijepit pada landasan
- 5) Untuk melakukan tes, persiapkan mesin dengan cara menaikkan pendulum ke posisi latch, atur indikator energi pada skala maksimum. Posisikan spesimen pada landasan dan lepaskan pendulum.

Tanpa memperhatikan kehilangan energi. Energi yang dipakai untuk mematahkan test piece dapat dihitung dengan penurunan rumus sebagai berikut:

$$\text{Energi awal } (E_0) = W h_0 = W (L - L \cdot \cos \alpha) \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{Energi akhir } (E_1) = W h_1 = W (L - L \cdot \cos \beta) \quad \dots\dots(2)$$

Substitusi persamaan (1) dan persamaan (2)

$$\Delta E = E_0 - E_1$$

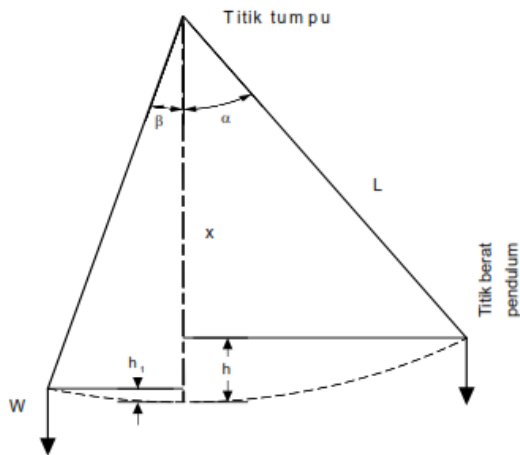
$$\Delta E = (W (L - L \cdot \cos \alpha)) - (W (L - L \cdot \cos \beta))$$



$$\Delta E = W \cdot L (\cos \beta - \cos \alpha) \quad \dots\dots (3)$$

Untuk mendapatkan nilai kekuatan impak  $\Delta E$  (Joule) dibagi dengan luas penampang benda kerja dibagian yang patah ( $\text{mm}^2$ )

$$IS = \frac{W \cdot L (\cos \beta - \cos \alpha)}{A}$$



Gambar 2.6 Ayunan Pendulum Alat Uji Impak

Dimana:

$W$  = Berat dari pendulum (kgm)

$h_0$  = Ketinggian pendulum sebelum diayunkan (m)

$h_1$  = Ketinggian pendulum setelah keadaan patah (m)

$\alpha$  = Sudut awal ( $^\circ$ )

$\beta$  = Sudut akhir ( $^\circ$ )

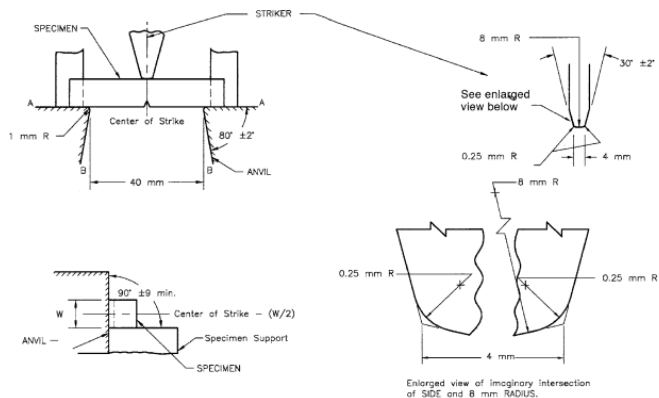
$L$  = Jarak titik tumpu ke titik berat (m).

$A$  = Luas penampang test piece bagian yang tertakik ( $\text{mm}^2$ ).

$IS$  = Kekuatan Impak ( $\text{kgm}/\text{mm}^2$ ) atau (Joule)

### 2.8.2 Uji Impak Metode Charpy

Pengujian ini terdiri dari mengukur energi yang diserap dalam takikan yang patah pada benda uji oleh satu pukulan dari pemukul yang dibawa oleh pendulum takikan benda uji berada ditengah-tengah dan dicekam pada setiap ujungnya. Benda uji dicekam secara horizontal pada setiap ujung-ujung benda uji.



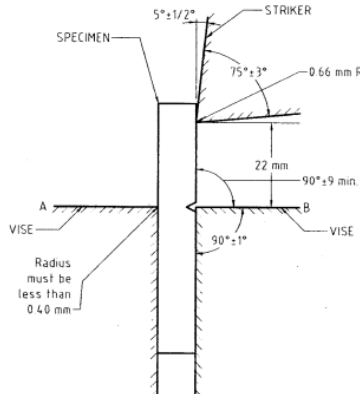
Gambar 2.7 Pemukulan Pada Metode Charpy

Pada metode charpy benda kerja harus diatur secara presisi agar bagian takikan bertemu tengah-tengah dari pemukul.

### 2.8.3 Uji Impak Metode Izod

Pengujian ini terdiri dari mengukur energi yang diserap dalam takikan yang patah pada benda uji oleh satu pukulan dari pemukul yang dibawa oleh pendulum.

Benda kerja dicekam secara vertikal dengan bagian bawah takikan berada pada bidang yang sama dengan permukaan atas pencekam. Pukulan memukul pada permukaan yang sama dengan takikan dan pada ketinggian tertentu di atasnya. Pengujian biasanya dilakukan pada temperatur ruangan di tempat pengujian.



Gambar 2.8 Pemukulan Pada Metode Izod

Pada pengujian metode izod benda kerja harus diatur secara akurat pada posisinya, sehingga bagian tengah dari takikan bertemu permukaan atas pencekam, dan penyimpangan dari bidang takikan dari permukaan atas pencekam harus kecil tidak melebihi 0,4 mm.

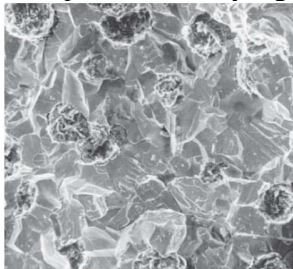
#### 2.8.4 Macam-Macam Patahan

Fracture atau kepatahan pada suatu material bisa digolongkan sebagai brittle atau ductile fracture. Suatu material yang mengalami kepatahan tanpa mengalami deformasi plastis dikatakan patah secara brittle, sedang apabila kepatahan didahului dengan suatu deformasi plastis dikatakan mengalami ductile fracture. Material yang mengalami brittle fracture hanya mampu menahan

energi yang kecil saja sebelum mengalami kepatahan. Patahan yang terjadi akibat pengujian impak ini ada 3 macam antara lain :

1) Patahan getas (brittle)

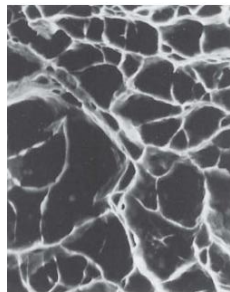
Patahan ini mempunyai bentuk yang rata serta mempunyai permukaan yang mengkilap. Apabila potongan dari patahan brittle ini kita sambungkan kepatahan itu tidak dibarengi dengan deformasinya bahan. Patahan brittle ini mempunyai nilai pukulan takik yang rendah.



Gambar 2.9 Hasil Scan Elektron Patahan Brittle

2) Patahan ulet (ductile)

Patahan ulet ini mempunyai permukaan patahan yang tidak merata, buram dan berserat. Patahan ulet ini mempunyai nilai pukulan takik yang tinggi.



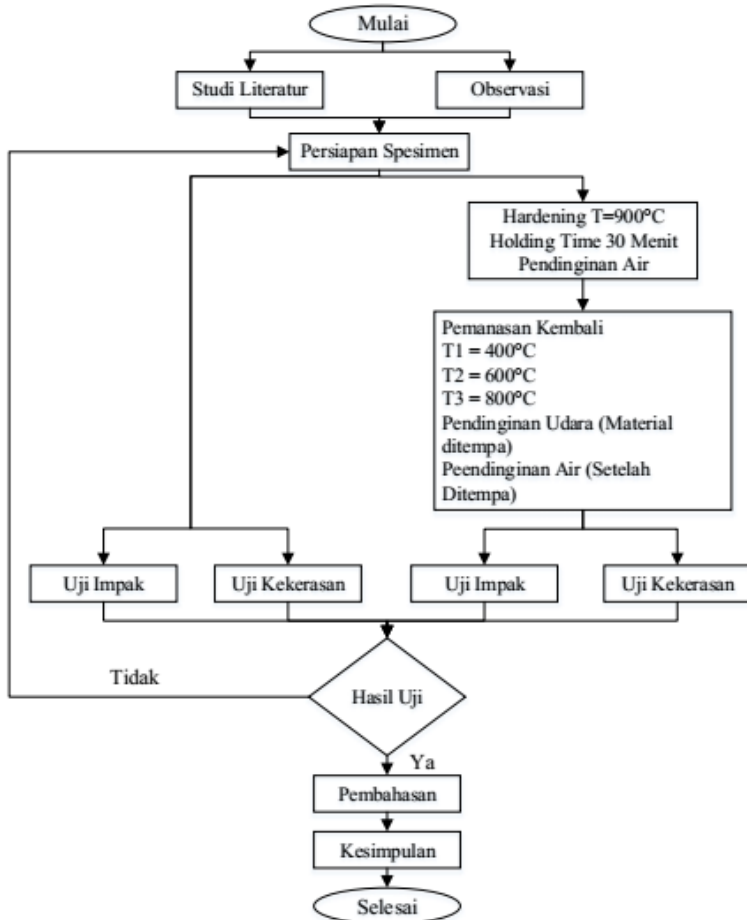
Gambar 2.10 Hasil Scan Elektron Patahan Ductile

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Flowchart Penelitian

Pengerjaan dalam pembuatan tugas akhir ini sesuai dengan flowchart, bisa dilihat pada gambar 3.1 atau diagram dibawah ini



Gambar 3.1 Diagram Alir

### 3.2 Bahan

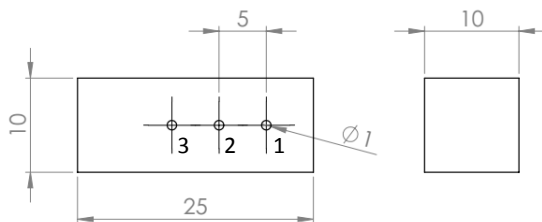
Material yang digunakan dalam pengujian ini adalah baja SS400 (*Structural steel 400*). Baja SS400 ini digunakan sebagai *underframe* kereta yang dibuat oleh PT. INKA.

Tabel 3.1 komposisi kimia baja SS400

Unsur (%)							
Fe	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
-	0,16	0,25	1,45	0,050	0,07	0,03	0,02

### 3.3 Benda Uji

#### 3.3.1 Benda Kekerasan

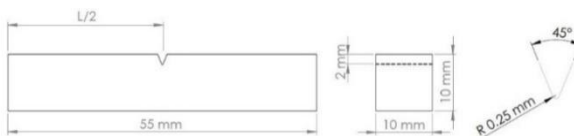


Gambar 3.2 Dimensi Benda Uji Kekerasan

#### 3.3.2 Benda Uji Impak

Benda uji berbentuk sesuai standart dimensi uji Impak ASTM A370 – 07a yang merujuk pada ASTM E23, dapat dilihat pada gambar 3.4. Dengan dimensi benda uji 55 mm x 10 mm x 10 mm

- Dalam takikan = 2 mm
- Jari – jari Takikan = 0.25 mm
- Sudut Takikan 45°



Gambar 3.3 Dimensi Benda Uji Impak

### **3.4 Prosedur Laku Panas**

#### **3.4.1 *Hardening***

Perlakuan panas *hardening* ini digunakan untuk melakukan simulasi pengelasan yang menyebabkan timbulnya distorsi dan tegangan sisa pada material yang digunakan dalam pembuatan underframe. Material yang diberi perlakuan *hardening* ini dipanaskan sampai suhu 900°C dan ditahan pada temperatur tersebut selama 30 menit. Selanjutnya material didinginkan dengan menggunakan air.

#### **3.4.2 Pemanasan kembali**

Pemanasan kembali ini digunakan untuk memanaskan benda kerja yang nantinya akan ditempa (*forging*). Pada laku panas ini benda uji dipanaskan dengan tiga variasi suhu yaitu 400°C, 600°C dan 800°C dengan setiap suhu memiliki waktu penahanan selama 20 menit. Selanjutnya benda kerja ditempa sebanyak 20 kali. Setelah selesai proses penempaan benda kerja dimasukkan kedalam air.

### **3.5 Peralatan dan Pengujian**

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini, dilakukan pada material awal dan material yang telah di *treatment*. Proses pengujian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

#### **3.5.1 Uji Kekerasan**

*Hardenability Test* yang digunakan adalah kekerasan *Rockwell* skala C dengan acuan standart uji kekerasan ASTM E – 18, yang dinyatakan dalam HRC. Indentor yang digunakan intan dengan sudut 120° dan beban 150 Kg. Dilakukan identasi sebanyak 3 kali di tempat yang berbeda pada setiap benda uji.





Gambar 3.4 Alat Uji Kekerasan

Langkah-langkah pengujian ini adalah

- 1) Permukaan Permukaan (atas dan bawah) specimen harus datar, halus, serta bebas dari kotoran, minyak, benda asing, maupun cacat.
- 2) Memasang indenter pada pemegang indenter.
- 3) Menempatkan indenter pada mesin.
- 4) Dashpot/pengatur beban diatur pada pembebanan 100 kg (untuk Rockwell B) atau 150 kg (untuk Rockwell C).
- 5) Putarlah handwheel untuk mengangkat landasan dengan perlahan untuk menaikkan penetrator sampai penunjuk kecilnya berada pada tanda merah dan penunjuk besarnya berputar tiga kali dan berhentilah dengan arah vertical.
- 6) Putarlah kerangka luar dari indicator untuk mendapatkan garis panjang tertulis di antara garis b dan c sejajar dengan penunjuk besar (diperbolehkan memutar searah jarum jam atau berlawanan jarum jam).

- 7) Tariklah handle untuk mengaplikasikan gaya uji utama, pada saat itu penunjuk besar dari indicator berputar berlawanan dengan arah jarum jam.
- 8) Ketika penunjuk indicator berhenti, doronglah handle pelepasnya dengan perlahan untuk melepaskan gaya uji utamanya.
- 9) Melihat angka kekerasan pada skala dial di mesin (skala merah untuk Rockwell B dan skala hitam untuk Rockwell C).
- 10) Putarlah handwheel untuk menurunkan dan mengambil benda uji. Apabila ingin mengadakan pengujian baru, ulangi menurut prosedur nomor 5-9 seperti dijelaskan di atas.

### **3.5.2 Uji Impak**

Metode yang digunakan adalah Uji Impak metode Charpy sesuai dengan standard ASTM A370-07a yang merujuk pada ASTM E23. Benda uji yang digunakan di setiap pengujian berjumlah 3.



Gambar 3.5 Alat Uji Impak

Langkah-langkah pengujian ini adalah :

- 1) Membersihkan spesimen dari kerak sisa dari perlakuan panas.
- 2) Beri tanda pada setiap spesimen yang akan di uji agar tidak tertukar.
- 3) Catat data pada mesin uji impak.
- 4) Pasang benda kerja pada mesin uji impak.
- 5) Naikkan pendulum sampai sudut  $140^{\circ}$ .
- 6) Tepatkan jarum pada posisi  $0^{\circ}$ .
- 7) Ayunkan pendulum.
- 8) Catat sudut yang ditunjuk oleh jarum penunjuk hasil pengujian.
- 9) Ambil benda kerja, dan amti jenis patahan yang ada pada benda uji,.

### **3.6 Langkah Percobaan**

- 1) Benda uji baja karbon SS400 dimasukkan kedalam furnace untuk di *hardening*.
- 2) Dapur pemanas dipanaskan dengan temperatur  $900^{\circ}\text{C}$ .
- 3) Setelah mencapai temperatur  $900^{\circ}\text{C}$  dilakukan penahanan selama 30 menit.
- 4) Benda uji dikeluarkan dari pemanas dan didinginkan dengan media pendingin air.
- 5) Setelah dingin benda uji kembali dipanaskan dengan suhu  $400^{\circ}\text{C}$  untuk benda uji yang pertama,  $600^{\circ}\text{C}$  untuk benda uji yang kedua dan  $800^{\circ}\text{C}$  untuk benda uji yang ketiga.
- 6) Selanjutnya dilakukan waktu penahanan selama 20 menit.
- 7) Benda uji selanjutnya dikeluarkan dari oven untuk proses forging.
- 8) Selanjutnya benda uji *diforging* / ditempa sebanyak 20 kali.
- 9) Kemudian benda uji yang sudah mengalami penempaan di masukkan kedalam air untuk melakukan proses pendinginan.

- 10) Sebagian benda uji tidak *diforging* dimasukkan secara bersamaan kedalam air, hal ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan antara benda uji yang ditempa dengan yang tidak ditempa.
- 11) Lakukan kembali proses nomor 6-9 untuk benda uji yang kedua (pemanasan mencapai 600°C) dan benda uji yang ketiga (pemanasan mencapai 800°C).
- 12) Setelah semua benda uji mendapat perlakuan panas benda uji dibersihkan dari kerak yang diakibatkan oleh proses pemanasan.
- 13) Selanjutnya melakukan uji tarik dan uji impak.
- 14) Melakukan analisis dari hasil pengujian.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB 4**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia**

Pengujian komposisi kimia dilaksanakam di PT.INKA Madiun. Metode pengujian yang digunakan adalah metode OES (Optical Emission Spectrometry). Hasil pengujian komposisi kimia dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.1 Komposisi Kimia Hasil Pengujian

Unsur (%)					
Fe	C	Si	Mn	Ni	Cr
98,3	0,165	0,133	1,16	0,022	0.0169

Tabel 4.2 Komposisi Kimia Pada Sertifikat Material

Unsur (%)					
Fe	C	Si	Mn	Ni	Cr
-	0,16	0,25	1,45	0,03	0,02

#### **4.2 Material awal**

Sebelum mendapat perlakuan panas material yang masih dalam kondisi normal di uji dengan tujuan untuk mengetahui berapa nilai kekuatan impak sebelum mendapat perlakuan panas.

##### **4.2.1 Uji Impak Material Awal**

Dalam setiap pengujian impak pada material menggunakan sudut  $\alpha = 140^\circ$ . Dari hasil pengujian impak didapat nilai kekuatan impak material awal Rata-Rata sebesar 36,964 Joule/mm<sup>2</sup> atau setara dengan 3,772 kgm/mm<sup>2</sup>.

Tabel 4. 3 Data Pengujian Impak Material

Mesin Uji	Mesin Uji Impak Charpy
Sudut $\alpha$ (°)	140
W (N)	13.17
R (m)	0.45



Gambar 4.1 Spesimen Hasil Pengujian Impak  
Kondisi Awal

Dari hasil pengujian tersebut kita dapat mengetahui bahwa baja SS400 memiliki nilai kekuatan impak yang besar, hal ini menandakan bahwa material ini mempunyai sifat yang ulet.

Tabel 4.4 Data Hasil Energi Impak Material Awal

Sudut $\beta$ (°)	A $\text{mm}^2$	E		IS	
		kgm	joule	$\frac{\text{kgm}}{\text{mm}^2}$	$\frac{\text{joule}}{\text{mm}^2}$
19	2,02	10,144	99,411	5,072	49,213
17	3,03	10,208	100,038	3,403	33,016
16	3,5	10,237	100,322	2,925	28,664
Rata-Rata		10,196	99,924	3,772	36,964

Keterangan :

E = Energi Impak

IS = Kekuatan Impak

Kekuatan impak yang besar dari material baja S400 ini dikarenakan baja ini memiliki kadar karbon yang rendah. Rendahnya kadar karbon inilah yang membuat baja ini mampu menyerap energi impak yang besar.

#### 4.2.2 Uji Kekerasan Material Awal

Material awal yang belum mendapat perlakuan panas juga di uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material awal. Hasil dicantumkan dalam tabel dibawah ini.

Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Kekerasan Material Awal

KONDISI	NILAI KEKERASAN (HRC)	RATA-RATA (HRC)
NORMAL	5,5	5,2
	6	
	4	

Dari hasil pengujian kekerasan material awal tersebut, kita dapat mengetahui bahwa material baja SS400 ini termasuk material yang lunak. Hal ini terlihat dari hasil pengujian kekerasan. Nilai kekerasan dari material awal sangat kecil

#### 4.3 *Hardening* (Simulasi Tegangan Sisa)

Untuk mendapatkan tegangan sisa pada benda uji dilakukan dengan cara melakukan perngerasan pada material. Hal ini dilakukan dengan cara melakukan pemansan pada benda uji sampai suhu 900°C dan dilakukan waktu penahanan selama 30 menit, kemudian didinginkan dengan menggunakan air.



Tabel 4.6 Data Proses *Hardening*

Data hardening pada benda uji baja SS400	
Tempat	Furnace
Temperatur Ruang	32°C
Temperatur Pemanasan	900°C
Waktu Penahanan	30 Menit
Media Pendingin	Air

#### 4.3.1 Uji Impak Material *Hardening*

Material yang telah mendapat tegangan sisa dari proses *hardening* selanjutnya di uji impak untuk mengetahui sifat mekanik dari material dan untuk mengetahui kekuatan impak dari spesimen.

Tabel 4.7 Data Hasil Pengujian Impak Material *Hardening*

Sudut $\beta$ (°)	A mm <sup>2</sup>	E		IS	
		kgm	joule	$\frac{kgm}{mm^2}$	$\frac{joule}{mm^2}$
53	68,6	8,107	79,449	0,118	1,158
54	73,26	8,023	78,625	0,11	1,073
52	75	8,189	80,252	0,109	1,07
Rata-Rata		8,106	79,442	0,112	1,1

Keterangan

E = Energi Impak

IS = Kekuatan Impak

Dari hasil uji impak pada proses *hardening* terlihat bahwa nilai kekuatan impaknya mencapai 1,1 Joule/mm<sup>2</sup> atau setara dengan 0,112 kgm/mm<sup>2</sup>. Material ini jauh lebih getas jika dibandingkan dengan material awal yang belum mendapatkan perlakuan panas. Getasnya material ini juga nampak pada patahan yang terlihat pada benda uji yang

telah patah. Tampak butiran-butiran yang mengkilap dari patahannya.



Gambar 4.2 Spesimen Uji Impak Hardening Setelah Di Uji

**4.3.2 Uji Kekerasan Material yang di *Hardening***

Material yang telah di *hardening* selanjutnya di uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material yang *dihardening*

Tabel 4.8 Data Hasil Pengujian Kekerasan Material *Hardening*

Kondisi	Nilai Kekerasan (HRC)	Rata-Rata (HRC)
Normal	44,5	46
	48,5	
	445	

Dari data diatas didapat bahwa material yang telah dihardening mempunyai kekerasan yang jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan material awal. Kekerasan dari material yang telah dihardening sebesar 46 HRC.

**4.4 Perlakuan Panas Kembali**

Proses perlakuan panas ini dilakukan untuk memanaskan benda kerja sebelum di *forging*. Ada 3 variasi suhu yang digunakan untuk memanaskan benda kerja yaitu 400°C, 600°C, dan 800°C. Tujuan dari adanya 3 variasi suhu ini adalah agar kita dapat mengetahui temperatur mana yang terbaik untuk digunakan

sebagai pemanasan sebelum benda uji di *forging*. Untuk proses tempa diberikan dengan tujuan untuk mengembalikan bentuk benda kerja yang mengalami deformasi ketika proses hardening.

Tabel 4.9 Data Porses Pemanasan temperatur 400°C

Baja SS400	
Tempat	Furnace
Temperatur ruangan	32°C
Temperatur Penahanan	400°C
Waktu Penahanan	20 menit
Media	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 menit di udara, material ditempa</li> <li>• 1 menit di udara, material tidak ditempa</li> <li>• air</li> </ul>

Tabel 4.10 Data Porses Pemanasan temperatur 600°C

Baja SS400	
Tempat	Furnace
Temperatur Ruangan	32°C
Temperatur Penahanan	600°C

Waktu Penahanan	20 menit
Media	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 menit di udara, material ditempa</li> <li>• 1 menit di udara, material tidak ditempa</li> <li>• air</li> </ul>

Tabel 4.11 Data Proses Pemanasan Temperatur 800°C

Baja SS400	
Tempat	Furnace
Temperatur Ruangan	32°C
Temperatur Penahanan	800°C
Waktu Penahanan	20 menit
Media	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 menit di udara, material ditempa</li> <li>• 1 menit di udara, material tidak ditempa</li> <li>• air</li> </ul>

#### 4.4.1 Uji Impak Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C Tempa

Setelah benda uji dipanaskan dilanjutkan dengan proses tempa untuk benda kerja yang ditempa. Selanjutnya benda uji di uji impak untuk mengetahui kekuatan impak.

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Impak Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C Tempa

Suhu (°)	Sudut $\beta$ (°)	A $\text{mm}^2$	E		IS	
			kgm	joule	$\frac{\text{kgm}}{\text{mm}^2}$	$\frac{\text{joule}}{\text{mm}^2}$
400	23	7,35	9,995	97,951	1,36	13,327
	22	6,7	10,035	98,343	1,499	14,689
	22	6,2	10,035	98,343	1,619	15,862
Rata-Rata			10,022	98,212	1,492	14,626
600	20	5,45	10,109	99,068	1,854	18,164
	21	5,51	10,144	98,715	1,829	17,922
	22	6,37	10,035	98,343	1,575	15,438
Rata-Rata			10,072	98,709	1,753	17,715
800	17	3,33	10,208	100,038	3,063	30,015
	19	3,54	10,144	99,411	2,87	28,122
	17	3,92	10,208	100,038	2,604	25,520
Rata-Rata			10,187	99,829	2,845	27,886

Keterangan

E = Energi Impak

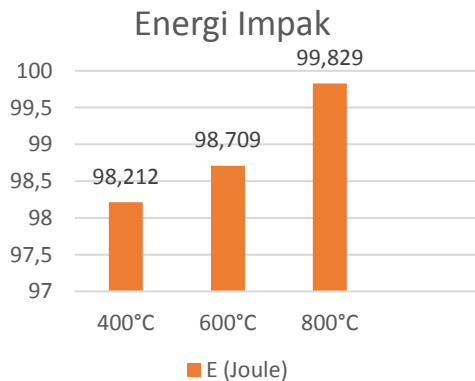
IS = Kekuatan Impak

Pada Pengujian impak ini dilakukan dengan menggunakan mesin impak charpy tipe HT-8041A. Dengan sudut awal penurunan pendulum adalah 140°. Nilai impact strength yang diperoleh dari pengujian dapat dilihat pada tabel berikut :

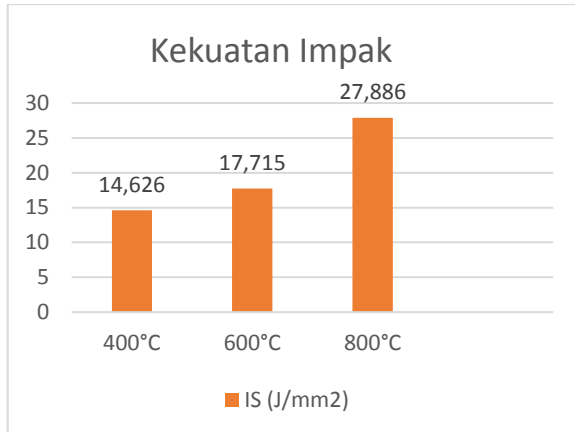


Gambar 4.3 Material Pemanasan Kembali Dengan Tiga Variasi Temperatur Sebelum Uji Impak

Dari tabel diatas didapatkan nilai dari energi impak dan kekuatan impak dari material yang di laku panas kembali pada suhu 400°C, 600°C dan 800°C yang ditempa. Hasil dari pengujian impak didapat data berupa sudut ( $\beta$ ) yang selanjutnya untuk mengetahui energi impak dan kekuatan impak akan dikonversikan dengan menggunakan tabel yang diperoleh dari alat uji. Detail perhitungan pengujian dilampirkan pada lampiran.



Gambar 4.4 Diagram Energi Impak Material Tempa



Gambar 4.5 Diagram Kekuatan Impak Material Tempa

Pada diagram batang diatas menunjukkan bahwa terjadi peningkatan enrgi dan kekuatan impak dari material yang mendapat perlakuan panas kembali. Pada pemanasan temperatur 400°C mempunyai energi impak sebesar 98,212 Joule dan kekuatan impaknya 14,626 Joule/mm<sup>2</sup>, sedangkan pada suhu 600°C benda uji mempunyai energi impak sebesar 98,709 Joule dan kekuatan impaknya 17,715 Joule/mm<sup>2</sup>. Dengan perbedaan temperatur ini terjadi peningkatan kekuatan impak. Nilai kekuatan impak material yang dipanaskan pada suhu 400°C lebih rendah jika dibandingkan dengan material yang dilaku panas kembali pada suhu 600°C.

Untuk material yang dilaku panas kembali pada suhu 800°C, memiliki energi impak yang paling besar yaitu sebesar 99,829 Joule dan kekuatan impaknya lebih tinggi jika dibandingkan dengan material yang dilaku panas pada suhu 600°C yang mendapatkan tempa yaitu sebesar 27,886 Joule/mm<sup>2</sup>. Secara keseluruhan dari grafik yang ada, material yang dilaku panas pada temperatur yang lebih tinggi nilai kekuatan impak yang lebih besar. Ini memiliki arti bahwa semakin tinggi temperatur sebelum

benda direforming maka semakin besar nilai *impact strength*.

Dari hasil pengujian impak material yang dilaku panas pada suhu 800°C menjadi material yang paling ulet. Hal ini dikarenakan material yang dipanaskan pada temperatur 600°C dan 400°C, temperaturnya belum menacapi temperatur kritis bawah sehingga martensit yang dihasilkan dari proses *hardening* belum dapat bertransformasi sehingga mengakibatkan material menjadi lebih keras. Sebelum didinginkam menggunakan air, benda uji terlebih dahulu mendapat pendinginan secara langsung dari udara. Pendinginan yang dilakukan oleh udara ini terjadi ketika proses penempaan (*forging*).

#### 4.4.2 Uji Impak Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C Tanpa Tempa

Untuk mengetahui perbedaan kekuatan impak dan energi impak dari material yang ditempa dengan material yang tidak ditempa selanjutnya material yang tidak ditempa dilakukan pengujian impak.

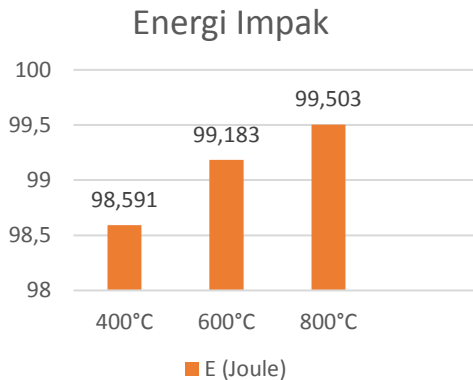
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Impak Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C Tanpa Tempa

Suhu (°)	Sudut β (°)	A mm <sup>2</sup>	E		IS	
			kgm	joule	$\frac{kgm}{mm^2}$	$\frac{joule}{mm^2}$
400	22	6,57	10,035	98,343	1,529	14,98
	21	6,12	10,073	98,715	1,646	16,13
	21	5,94	10,073	98,715	1,696	16,619
Rata-Rata			10,07	98,591	1,623	15,91
600	20	5,56	10,109	99,068	1,82	17,834
	19	5,3	10,144	989,411	1,914	18,757
	20	5,45	10,109	99,068	1,857	18,194
Rata-Rata			10,121	99,183	1,863	18,262
	18	5,15	10126	99,235	1,967	19,276

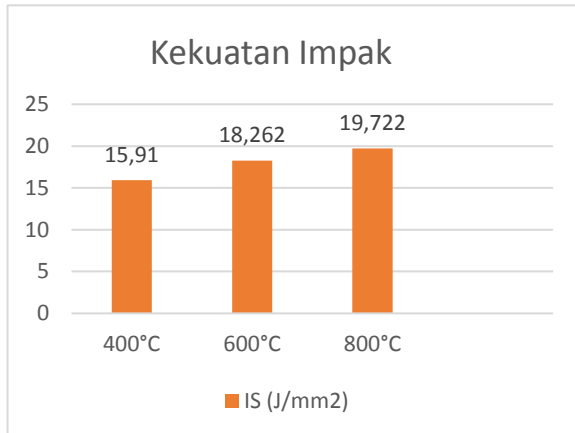


800	17	4,9	10,208	100,038	2,083	20,416
	18	5,1	10,126	99,235	1,987	19,473
Rata-Rata			10,153	99,503	2,012	19,722

Dari tabel diatas didapatkan nilai dari energi impak dan kekuatan impak dari material yang di laku panas kembali pada suhu 400°C, 600°C dan 800°C yang ditempa. Hasil dari pengujian impak didapat data berupa sudut ( $\beta$ ) yang selanjutnya untuk mengetahui energi impak dan kekuatan impak akan dihitung dengan menggunakan rumus yang ada pada bab 2. Detail perhitungan pengujian dilampirkan pada lampiran.



Gambar 4.6 Diagram Energi Impak  
Material Tanpa Tempa



Gambar 4.7 Diagram Kekuatan Impak Material Tanpa Tempa

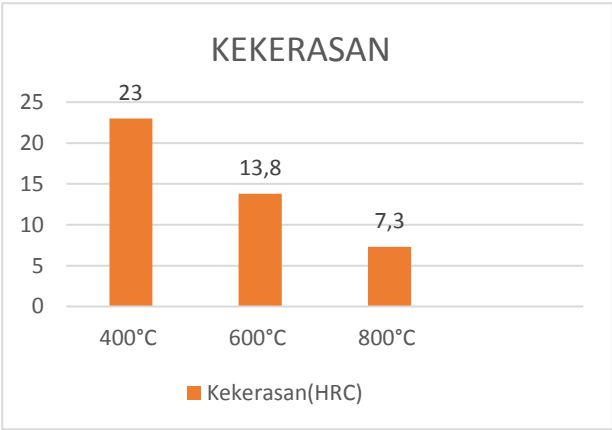
Dari diagram batang diatas diatas menunjukkan bahwa material yang dilaku panas pada temperatur 800°C mempunyai kekuatan dan energi impact yang paling besar yaitu 19,722 J/mm<sup>2</sup> dan 99,503 joule, pada temperatur 600°C kekuatan impact dan energi impact lebih kecil yaitu sebesar 18,262 J/mm<sup>2</sup> dan 99,183 joule. Nilai energi dan kekuatan impact yang terkecil terdapat pada material yang dilaku panas pada temperatur 400°C yaitu sebesar 15,91 J/mm<sup>2</sup> dan 98,591 joule. Secara keseluruhan energi impact dan kekuatan impact untuk material yang tidak ditempa nilainya terus meningkat sesuai dengan temperatur pemanasan hal ini menandakan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan maka material semakin ulet. Hasil ulet yang diperoleh ini terjadi karena martensit pada material yang dipanaskan dibawah temperatur kritis belum dapat bertransformasi sehingga membuat material menjadi lebih getas.

**4.4.3 Uji Kekerasan Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C Tempa**

Uji kekerasan pada material yang telah dipanaskan kembali pada material yang ditempa dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur terhadap kekerasan material.

Tabel 4.14 Hasil Pengujian Kekerasan Material Pemanasan Temperatur 400°C, 600, 800°C Tempa

Suhu	Nilai kekerasan (HRC)	Rata-Rata (HRC)
400	21	23
	25	
	23	
600	14	13,8
	13	
	14,5	
800	5,5	7,3
	8,5	
	8	



Gambar 4.8 Diagram Nilai Kekerasan Material Tempa

Dari hasil pengujian kekerasan dari material yang dipanaskan kembali dengan tiga variasi suhu dan ditempa didapat data bahwa material yang dipanaskan pada suhu 400°C memiliki nilai kekerasan yang paling besar yaitu 23 HRC, sedangkan pada material yang dipanaskan kembali pada temperatur 600°C mempunyai nilai kekerasan 13,8 HRC. Nilai kekerasan yang paling rendah ada pada material yang dipanaskan pada temperatur 800°C, kekerasan yang dihasilkan yaitu sebesar 7,3 HRC, hal ini menandakan bahwa material yang dipanaskan pada temperatur 800°C mempunyai keuletan yang tinggi. Sedangkan pada material yang memiliki nilai kekerasan yang tinggi artinya material tersebut berubah menjadi getas. Penyebab dari material tersebut menjadi keras karena martensit yang diperoleh ketika proses *hardening* belum berubah karena pemanasan yang dilakukan pada temperatur 400°C dan 600°C temperaturnya masih berada dibawah temperatur kritis sehingga martensit yang ada pada material belum dapat bertransformasi hanya saja batas butir pada temperatur 600°C menjadi lebih besar. Oleh karena itu material yang dipanaskan pada temperatur 600°C lebih lunak, namun masih lebih keras jika dibandingkan dengan material yang dipanaskan pada temperatur 800°C. Pada temperatur 800°C nilai kekerasannya paling rendah, hal ini dikarenakan martensit yang diperoleh dari *hardening* sudah bertransformasi karena pemanasannya berada diatas temperatur kritis.

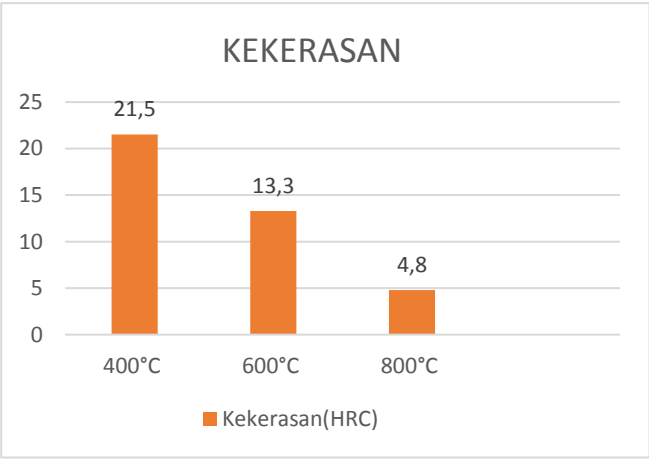
#### **4.4.4 Uji Kekerasan Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C Tanpa Tempa**

Uji kekerasan pada material yang telah dipanaskan kembali pada material yang tidak ditempa

dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur terhadap kekerasan material.

Tabel 4.15 Hasil Pengujian Kekerasan Material Pemanasan Temperatur 400°C, 600°C,800°C Tanpa Tempa

Suhu	Nilai kekerasan (HRC)	Rata-Rata (HRC)
400	18,5	21,5
	23,5	
	22,5	
600	14,5	13,3
	13,5	
	12	
800	6	4,8
	5	
	3,5	



Gambar 4.9 Diagram Nilai Kekerasan Material Tanpa Tempa

Dari diagram batang hasil pengujian kekerasan diatas didapat data bahwa material yang dilaku panas pada temperatur 800°C mempunyai nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu sebesar 21,5 HRC. Selanjutnya pada temperatur 600°C kekerasannya menurun menjadi 13,3 HRC dan pada temperatur 800°C mempunyai nilai kekerasan yang paling rendah yaitu sebesar 4,8 HRC. Dari hasil. Dari hail tersebut menandakan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan reforming maka material akan semakin lunak atau ulet.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil analisa data hasil pengujian impak dan tarik mengenai pengaruh reforming dengan tiga variasi suhu terhadap baja SS400, dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa benda uji yang dilaku panas kembali pada temperatur 800°C memiliki kekerasan yang paling mendekati dengan kondisi awal bahan yaitu 7,3 HRC, sedangkan nilai kekerasan yang paling tinggi dihasilkan dari pemanasan pada temperatur 400°C yang memiliki nilai kekerasan sebesar 23 HRC.
- 2) Hasil pengujian impak menunjukkan bahwa benda uji yang dilaku panas pada suhu 800°C mempunyai kekuatan impak yang hampir mendekati dengan materail awal yaitu sebesar 27,886 Joule/mm<sup>2</sup>. Sedangkan pemanasan yang dilakukan pada temperatur 400°C mempunyai kekuatan impak yang paling kecil yaitu sebesar 14,626 Joule/mm<sup>2</sup>, dan hasil dari temperatur iniyang paling beda dengan kekuatan impak material awal.
- 3) Dari data hasil pengujian kekerasan dan impak maka pemanasan pada suhu 800°C merupakan temperatur yang paling tepat untuk melakukan reforming.

#### **5.2 Saran**

- 1) Pada penelitin kali ini pengujian dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dan kekuatan imapak dari amterial. Untuk selanjutnya dapat dilakukan dengan pengujian bending test.
- 2) Pada penelitian ini hanya mengetahui perbedaan antara kekuatan tarik dan kekuatan impak pada spessimen untuk menentukan temperatur yang terbaik untuk proses reforming.



## DAFTAR PUSTAKA

1. ASTM International Standard E-18, *Standart Test Method for Rockwell Hardness Supercifal Hardness of Metallic Material*.
2. ASTM International Standard E-23, *Standart Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*.
3. Avner, H, S. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy. 2nd edition*, New York; Mc Graw Hill International Editions.
4. Callister, D.William dan David G.Rethwisch. 2013 *Material Science and Engineering. 9th edition*, United States Of America: Wiley Binder
5. Gunawan Dwi. 2006. Pengaruh Tempering Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Pada Baja K-460. *Jurnal Universitas Diponegoro*
6. Lagiyono, Suwandono, Mukhamad Masykur. 2011. Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Mekanik Pada Baja Karbon Sedang ST 60. *Jurnal Universitas Pancasakti Tegal*
7. Thelning, K.E. 1984. *Steel and It's HeatTreatment. 2nd editon*. Butterworths. London.

## LAMPIRAN

- 1) Perhitungan energi impact dan kekuatan impact mengacu dengan rumus yang ada pada bab 2 dan menggunakan tabel konversi.

### A. Material Awal (Spesimen 1)

- Mengacu pada rumus bab 2

$$W = 13,17\text{Kg} ; L = 0,45\text{m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 19^\circ ; A = 2,02\text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha) \\ &= 13,17\text{ Kg} \times 0,45\text{m} (\cos 19 - \cos 140) \\ &= \mathbf{10,144\text{ kgm}} \\ &= \mathbf{99,407\text{ joule}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IS &= \frac{E}{A} \\ &= \frac{10,144\text{ kgm}}{2,02\text{mm}^2} \\ &= \mathbf{5,022\text{ kgm/mm}^2} \\ &= \mathbf{49,211\text{ joule/ mm}^2} \end{aligned}$$

- Mengacu pada tabel konversi

$$W = 13,17\text{Kg} ; L = 0,45\text{m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 19^\circ ; A = 2,02\text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= \mathbf{10,144\text{ kgm}} \\ &= \mathbf{99,411\text{ joule}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 IS &= \frac{E}{A} \\
 &= \frac{10,144 \text{ kgm}}{2,02 \text{ mm}^2} \\
 &= \mathbf{5,022 \text{ kgm/mm}^2} \\
 &= \mathbf{49,213 \text{ joule/ mm}^2}
 \end{aligned}$$

**B. Material Awal (Spesimen 2)**

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 17^\circ ; A = 3,03 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 E &= W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha) \\
 &= 13,17 \text{ Kg} \times 0,45 \text{ m} (\cos 17^\circ - \cos 140^\circ) \\
 &= \mathbf{10,208 \text{ kgm}} \\
 &= \mathbf{100,034 \text{ joule}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 IS &= \frac{E}{A} \\
 &= \frac{10,208 \text{ kgm}}{3,03 \text{ mm}^2} \\
 &= \mathbf{3,369 \text{ kgm/mm}^2} \\
 &= \mathbf{33,014 \text{ joule/ mm}^2}
 \end{aligned}$$

- **Mengacu pada tabel konversi**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 17^\circ ; A = 3,03 \text{ mm}^2$$

$$E = 10,208 \text{ kgm}$$

$$= 100,038 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{10,208 \text{ kgm}}{3,03 \text{ mm}^2}$$

$$= 3,369 \text{ kgm/mm}^2$$

$$= 33,016 \text{ joule/ mm}^2$$

### C. Material Awal (Spesimen 3)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 16^\circ ; A = 3,5 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha)$$

$$= 13,17 \text{ Kg} \times 0,45 \text{ m} (\cos 16 - \cos 140)$$

$$= 10,237 \text{ kgm}$$

$$= 100,321 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{10,237 \text{ kgm}}{3,5 \text{ mm}^2}$$

$$= 2,925 \text{ kgm/mm}^2$$

$$= 28,663 \text{ joule/ mm}^2$$

- **Mengacu pada tabel konversi**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 16^\circ ; A = 3,5 \text{ mm}^2$$

$$E = 10,237 \text{ kgm}$$

$$= 100,323 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{10,237 \text{ kgm}}{3,5 \text{ mm}^2}$$

$$= 2,925 \text{ kgm/mm}^2$$

$$= 28,664 \text{ joule/mm}^2$$

- Nilai energi impak rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material awal = **10,196 kgm = 99,921 Joule**
- Nilai energi impak rata-rata sesuai dengan tabel konversi untuk material awal = **10,196 kgm = 99,924 joule**
- Nilai kekuatan impak rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material awal = **3,772 kgm/mm<sup>2</sup> = 36,963 joule/mm<sup>2</sup>**
- Nilai kekuatan impak rata-rata sesuai dengan tabel konversi untuk material awal = **3,772 kgm/mm<sup>2</sup> = 36,963 joule/mm<sup>2</sup>**

**D. Material pemanasan temperatur 400°C (Spesimen 1)**

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 23^\circ ; A = 7,35 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha)$$

$$= 13,17 \text{ Kg} \times 0,45 \text{ m} (\cos 23 - \cos 140)$$

$$= \mathbf{9,995 \text{ kgm}}$$

$$= \mathbf{97,954 \text{ joule}}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{9,995 \text{ kgm}}{7,35 \text{ mm}^2}$$

$$= \mathbf{1,36 \text{ kgm/mm}^2}$$

$$= \mathbf{13,327 \text{ joule/ mm}^2}$$

- **Mengacu pada tabel konversi**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 23^\circ ; A = 7,35 \text{ mm}^2$$

$$\mathbf{E = 9,995 \text{ kgm}}$$

$$= \mathbf{97,951 \text{ joule}}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{9,995 \text{ kgm}}{7,35 \text{ mm}^2}$$

$$= \mathbf{1,36 \text{ kgm/mm}^2}$$

$$= \mathbf{13,327 \text{ joule/ mm}^2}$$

**E. Material pemanasan temperatur 400°C (Spesimen 2)**

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 22^\circ ; A = 6,7 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= W \cdot L (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 13,17 \text{ Kg} \times 0,45 \text{ m} (\cos 22^\circ - \cos 140^\circ) \\ &= \mathbf{10,035 \text{ kgm}} \\ &= \mathbf{98,342 \text{ joule}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IS &= \frac{E}{A} \\ &= \frac{10,035 \text{ kgm}}{6,7 \text{ mm}^2} \\ &= \mathbf{1,498 \text{ kgm/mm}^2} \\ &= \mathbf{14,678 \text{ joule/mm}^2} \end{aligned}$$

- **Mengacu pada tabel konversi**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 22^\circ ; A = 6,7 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= \mathbf{10,035 \text{ kgm}} \\ &= \mathbf{98,343 \text{ joule}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IS &= \frac{E}{A} \\ &= \frac{10,035 \text{ kgm}}{6,7 \text{ mm}^2} \\ &= \mathbf{1,499 \text{ kgm/mm}^2} \\ &= \mathbf{14,689 \text{ joule/mm}^2} \end{aligned}$$

**F. Material pemanasan temperatur 400°C (Spesimen 3)**

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 22^\circ ; A = 6,2 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= W \cdot L (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 13,17 \text{ Kg} \times 0,45 \text{ m} (\cos 22^\circ - \cos 140^\circ) \\ &= \mathbf{10,035 \text{ kgm}} \\ &= \mathbf{98,342 \text{ joule}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IS &= \frac{E}{A} \\ &= \frac{10,035 \text{ kgm}}{6,2 \text{ mm}^2} \\ &= \mathbf{1,619 \text{ kgm/mm}^2} \\ &= \mathbf{15,862 \text{ joule/mm}^2} \end{aligned}$$

- **Mengacu pada tabel konversi**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 22^\circ ; A = 6,2 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= \mathbf{10,035 \text{ kgm}} \\ &= \mathbf{98,343 \text{ joule}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IS &= \frac{E}{A} \\ &= \frac{10,035 \text{ kgm}}{6,2 \text{ mm}^2} \\ &= \mathbf{1,619 \text{ kgm/mm}^2} \\ &= \mathbf{15,862 \text{ joule/mm}^2} \end{aligned}$$



- Nilai energi impak rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material pemanasan temperatur  $400^{\circ}\text{C} = 10,022 \text{ kgm} = 98,213 \text{ Joule}$
- Nilai energi impak rata-rata sesuai dengan tabel konversi untuk material pemanasan temperatur  $400^{\circ}\text{C} = 10,22 \text{ kgm} = 98,213$
- Nilai kekuatan impak rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material pemanasan temperatur  $800^{\circ}\text{C} = 1,492 \text{ kgm/mm}^2 = 14,622 \text{ joule/mm}^2$
- Nilai kekuatan impak rata-rata sesuai dengan tabel konversi untuk material pemanasan temperatur  $400^{\circ}\text{C} = 1,492 \text{ kgm/mm}^2 = 14,626 \text{ joule/mm}^2$

**G. Material pemanasan temperatur 600°C (Spesimen 1 )**

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 20^\circ ; A = 5,45 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha)$$

$$= 13,17 \text{ Kg} \times 0,45 \text{ m} (\cos 20^\circ - \cos 140^\circ)$$

$$= 10,109 \text{ kgm}$$

$$= 99,069 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{10,109 \text{ kgm}}{5,45 \text{ mm}^2}$$

$$= 1,855 \text{ kgm/mm}^2$$

$$= 18,178 \text{ joule/ mm}^2$$

- **Mengacu pada tabel konversi**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 20^\circ ; A = 5,45 \text{ mm}^2$$

$$E = 10,109 \text{ kgm}$$

$$= 99,068 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{10,109 \text{ kgm}}{5,45 \text{ mm}^2}$$

$$= 1,854 \text{ kgm/mm}^2$$

$$= 18,164 \text{ joule/ mm}^2$$

#### **H. Material pemanasan temperatur 600°C (Spesimen 2 )**

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 21^\circ ; A = 5,51 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha)$$

$$= 13,17 \text{ Kg} \times 0,45 \text{ m} (\cos 21 - \cos 140)$$

$$= \mathbf{10,073 \text{ kgm}}$$

$$= \mathbf{98,714 \text{ joule}}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{10,073 \text{ kgm}}{5,51 \text{ mm}^2}$$

$$= \mathbf{1,828 \text{ kgm/mm}^2}$$

$$= \mathbf{17,915 \text{ joule/ mm}^2}$$

- **Mengacu pada tabel konversi**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 21^\circ ; A = 5,51 \text{ mm}^2$$

$$E = 10,073 \text{ kgm}$$

$$= \mathbf{99,98,715 \text{ joule}}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{10,073 \text{ kgm}}{5,51 \text{ mm}^2}$$

$$= \mathbf{1,829 \text{ kgm/mm}^2}$$

$$= \mathbf{17,922 \text{ joule/ mm}^2}$$

**I. Material pemanasan temperatur 600°C (Spesimen 3 )**

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 22^\circ ; A = 6,37 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha)$$

$$= 13,17 \text{ Kg} \times 0,45 \text{ m} (\cos 22^\circ - \cos 140^\circ)$$

$$= 10,035 \text{ kgm}$$

$$= 98,342 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{10,035 \text{ kgm}}{6,37 \text{ mm}^2}$$

$$= 1,575 \text{ kgm/mm}^2$$

$$= 15,438 \text{ joule/ mm}^2$$

- **Mengacu pada tabel konversi**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 22^\circ ; A = 6,37 \text{ mm}^2$$

$$E = 10,035 \text{ kgm}$$

$$= 98,343 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{10,035 \text{ kgm}}{6,37 \text{ mm}^2}$$

$$= 1,575 \text{ kgm/mm}^2$$

$$= 15,438 \text{ joule/ mm}^2$$

- Nilai energi impak rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material pemanasan temperatur  $600^{\circ}\text{C} = 10,072 \text{ kgm} = 98,213 \text{ Joule}$
- Nilai energi impak rata-rata sesuai dengan tabel konversi untuk material pemanasan temperatur  $600^{\circ}\text{C} = 10,072 \text{ kgm} = 98,709 \text{ joule/mm}^2$
- Nilai kekuatan impak rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material pemanasan temperatur  $600^{\circ}\text{C} = 1,753 \text{ kgm/mm}^2 = 17,177 \text{ joule/mm}^2$
- Nilai kekuatan impak rata-rata sesuai dengan tabel konversi untuk material pemanasan temperatur  $600^{\circ}\text{C} = 1,753 \text{ kgm/mm}^2 = 17,175 \text{ joule/mm}^2$

#### **J. Material pemanasan temperatur $800^{\circ}\text{C}$ (Spesimen 1)**

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^{\circ} ; \beta = 17^{\circ} ; A = 3,33 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$= 13,17 \text{ Kg} \times 0,45 \text{ m} (\cos 17^{\circ} - \cos 140^{\circ})$$

$$= 10,208 \text{ kgm}$$

$$= 100,034 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{10,208 \text{ kgm}}{3,33 \text{ mm}^2}$$

$$= 3,065 \text{ kgm/mm}^2$$

$$= 100,034 \text{ joule/mm}^2$$

- **Mengacu pada tabel konversi**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 17^\circ ; A = 3,33 \text{ mm}^2$$

$$E = 10,208 \text{ kgm}$$

$$= 100,038 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{10,208 \text{ kgm}}{3,33 \text{ mm}^2}$$

$$= 3,063 \text{ kgm/mm}^2$$

$$= 30,015 \text{ joule/mm}^2$$

**K. Material pemanasan temperatur 800°C (Spesimen 2)**

- Mengacu pada rumus bab 2

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 19^\circ ; A = 3,54 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha)$$

$$= 13,17 \text{ Kg} \times 0,45 \text{ m} (\cos 1 - \cos 140)$$

$$= 10,144 \text{ kgm}$$

$$= 99,407 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{10,144 \text{ kgm}}{3,54 \text{ mm}^2}$$

$$= 2,865 \text{ kgm/mm}^2$$

$$= 28,081 \text{ joule/mm}^2$$

- **Mengacu pada tabel konversi**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 19^\circ ; A = 3,54 \text{ mm}^2$$

$$E = 10,144 \text{ kgm}$$

$$= 99,411 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{10,144 \text{ kgm}}{3,54 \text{ mm}^2}$$

$$= 2,87 \text{ kgm/mm}^2$$

$$= 28,122 \text{ joule/ mm}^2$$

#### **L. Material pemanasan temperatur 800°C (Spesimen 3)**

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 17^\circ ; A = 3,92 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha)$$

$$= 13,17 \text{ Kg} \times 0,45 \text{ m} (\cos 17 - \cos 140)$$

$$= 10,208 \text{ kgm}$$

$$= 100,034 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{10,208 \text{ kgm}}{3,92 \text{ mm}^2}$$

$$= 2,604 \text{ kgm/mm}^2$$

$$= 285,519 \text{ joule/ mm}^2$$

- **Mengacu pada tabel konversi**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 17^\circ ; A = 3,92 \text{ mm}^2$$

$$E = 10,208 \text{ kgm}$$

$$= 100,038 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{10,208 \text{ kgm}}{3,92 \text{ mm}^2}$$

$$= 2,604 \text{ kgm/mm}^2$$

$$= 25,52 \text{ joule/mm}^2$$

- Nilai energi impak rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material pemanasan temperatur  $800^\circ\text{C} = 10,186 \text{ kgm} = 99,825 \text{ Joule}$
- Nilai energi impak rata-rata sesuai dengan tabel konversi untuk material pemanasan temperatur  $800^\circ\text{C} = 10,187 \text{ kgm} = 99,829 \text{ joule}$
- Nilai kekuatan impak rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material pemanasan temperatur  $800^\circ\text{C} = 2,845 \text{ kgm/mm}^2 = 27,88 \text{ joule/mm}^2$
- Nilai kekuatan impak rata-rata sesuai dengan tabel konversi untuk material pemanasan temperatur  $800^\circ\text{C} = 2,845 \text{ kgm/mm}^2 = 27,886 \text{ joule/mm}^2$



## 2) Tabel konversi energi uji impak

\*\*\*\* 衝擊試驗機能量對照表\*\*\*\*

公司	PT. ANUGERAH SISTEMA DERKASA				
儀器型式	CHARPY	儀器序號	#7316	製造日期	2005/10/27
儀器能量	10	KG — M	擺錘重量(W)	13.17	KG
擺錘週期(T)	1.49		擺錘搖高角度( $\alpha$ )	140	°
擺錘轉軸中心至重心距離(R)	0.45	M	衝擊速率(V)	4.370	
擺錘之力距(WR)	5.927		能量損失(L)	0.020	

CAPACITY ABSORBED : KG — M

0	10.466	31	9.620	62	7.322	93	4.230	124	1.226
1	10.466	32	9.566	63	7.231	94	4.127	125	1.141
2	10.463	33	9.510	64	7.138	95	4.023	126	1.056
3	10.458	34	9.453	65	7.045	96	3.920	127	0.973
4	10.452	35	9.395	66	6.950	97	3.818	128	0.891
5	10.444	36	9.335	67	6.856	98	3.715	129	0.810
6	10.434	37	9.273	68	6.760	99	3.613	130	0.730
7	10.422	38	9.210	69	6.664	100	3.511	131	0.652
8	10.409	39	9.146	70	6.567	101	3.409	132	0.574
9	10.393	40	9.080	71	6.469	102	3.308	133	0.498
10	10.376	41	9.013	72	6.371	103	3.207	134	0.423
11	10.358	42	8.944	73	6.273	104	3.106	135	0.349
12	10.337	43	8.874	74	6.174	105	3.006	136	0.277
13	10.315	44	8.803	75	6.074	106	2.906	137	0.206
14	10.290	45	8.731	76	5.974	107	2.807	138	0.136
15	10.265	46	8.657	77	5.873	108	2.709	139	0.067
16	10.237	47	8.582	78	5.772	109	2.610	140	0.000
17	10.208	48	8.506	79	5.671	110	2.513		
18	10.176	49	8.428	80	5.569	111	2.416		
19	10.144	50	8.349	81	5.467	112	2.320		
20	10.109	51	8.270	82	5.365	113	2.224		
21	10.073	52	8.189	83	5.262	114	2.129		
22	10.035	53	8.107	84	5.159	115	2.035		
23	9.995	54	8.023	85	5.056	116	1.942		
24	9.954	55	7.939	86	4.953	117	1.849		
25	9.911	56	7.854	87	4.850	118	1.758		
26	9.867	57	7.768	88	4.747	119	1.667		
27	9.821	58	7.681	89	4.643	120	1.577		
28	9.773	59	7.592	90	4.540	121	1.488		
29	9.723	60	7.503	91	4.437	122	1.399		
30	9.672	61	7.413	92	4.333	123	1.312		

\*\*\* FORMULA :  $W \cdot R \cdot (\cos(\beta) - \cos(\alpha))$  \*\*\*

弘達儀器股份有限公司

### 3) Sertifikat Baja SS400

KRAKATAU STEEL

PT KRAKATAU STEEL (PERSERO) Tbk.

### MILL CERTIFICATE

PURCHASER : INDUSTRI KERTAJATI, PT.  
JL. YOS SUDARSO NO.71  
MADJUN

COMMODITY : PRIME NEWLY PRODUCED HOT ROLLED  
STEEL IN SHEET MILL EDGE

SPECIFICATION : AISI 304 SS400

LC NO. : MS1722018628  
CERTIFICATE NO. : 88800383MACR001/8  
DATE : APRIL 06, 2016  
LOT NO.  
SHIPPING INSTRUCTION :  
SALES ORDER / ITEM : 8000307049 / 000060

Page : 10

JAT NO.	SLAB NO.	COIL AND PACKING NO.	TEST- NO.	DIMENSION (mm)	QTY (N)	CHEMICAL COMPOSITION * 100 %										TENSILE TEST				BEND TEST	IMPACT TEST	
						C	SI	Mn	P	S	AL	Ca	YS N/mm²	TS N/mm²	EL %						AVG	°C
K17473	0200	872218 01	872218	8.00 x 1219 x 2438	18	18.0	0.8	87.7	1.2	0.5	4.3	0.31	398	461	28							
K22423	0200	872218 02	872218	8.00 x 1219 x 2438	18	18.0	0.8	87.7	1.2	0.5	4.3	0.31	398	461	28							
K17473	0200	872218 03	872218	8.00 x 1219 x 2438	18	18.0	0.8	87.7	1.2	0.5	4.3	0.31	398	461	28							

REH944023, ISSUE NO. 03



## BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 29 Juli 1995 di Tulungagung, Provinsi Jawa Timur. Pendidikan formal yang pernah ditempuh meliputi SDN 3 Serut, SMPN 3 Tulungagung, SMKN 3 Boyolangu. Setelah itu penulis meneruskan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Program Studi D3 Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh

Nopember dan mengambil bidang studi Manufaktur.

Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT INKA Madiun yang ditempatkan pada divisi *quality control*. Dari kerja praktek itulah penulis mendapatkan tema untuk mengerjakan Tugas Akhir ini.

Selama masa pendidikan di perkuliahan penulis aktif mengikuti kegiatan di kampus, terutama kegiatan yang berhubungan dengan keilmiahan. Penulis ikut bergabung dengan Tim Riset Mobil Etanol yang dimiliki oleh D3 Teknik Mesin Industri. Disana penulis menjabat sebagai koordinator desain *body* dan manufaktur. Penulis juga pernah mengikuti program kreatifitas mahasiswa yang diselenggarakan oleh DIKTI, disana penulis membuat inovasi mengenai alat yang digunakan untuk menanam bibit cabai. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi dapat menghubungi E-mail: [imamsakroni048@gmail.com](mailto:imamsakroni048@gmail.com)